

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“ Proyecto de una Planta Dendrotérmica para Generación de Electricidad Mediante Caldera de leña y Máquina de Vapor ”

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

SALOME GONZALES CHAVEZ

PROMOCION: 1984 - 2

LIMA . PERU . 1991

C O N T E N I D O

PROLOGO

INTRODUCCION

CAPITULO 2 :

ESTUDIO DE MERCADO ENERGETICO

2.1	El Mercado Energético en la Selva Baja	8
2.1.1	Microregionalización de la Selva Baja	9
2.1.2	Homogeneidad de las Microregiones	10
2.1.2.1	Actividades Económico-Sociales	10
2.1.2.2	Recursos	13
2.1.3	Evaluación Energética en las Microregiones	13
2.1.4	La Demanda de Energía	15
2.1.4.1	Modelo del Sector Residencial	16
2.1.4.2	Modelo del Sector Industrial, Comercial y de Servicio Público	18
2.1.4.3	Curvas de Carga de Energía Eléctrica	19
2.1.5	La Demanda Eléctrica :Pronósticos y Programa de Intervención	20
2.1.5.1	Pronósticos de la Demanda Eléctrica en la Selva Baja	20
2.1.5.2	Programa General de Intervención en la Selva Baja	21
2.1.6	La Oferta Existente de Energía Eléctrica	22
2.2	El Mercado Energético de una Localidad específica : Puerto Inca	22
2.2.1	Características generales de Puerto Inca	22
2.2.2	Actividades Económicas	23
2.2.2.1	Agricultura	24

2.2.2.2	Agroindustria	24
2.2.3	Recursos Energéticos	25
2.2.3.1	Biomasa de Origen Agrícola	25
2.2.3.2	Biomasa de Origen Agroindustrial	25
2.2.3.3	Biomasa de Origen Forestal	25
2.2.4	La Oferta Existente de Energía Eléctrica	26
2.2.5	Análisis de la Demanda de Energía Eléctrica	27
2.2.5.1	Metodología	27
2.2.5.2	Diagrama de Carga Eléctrica Mediante Método 1	28
2.2.5.3	Diagrama de Carga Eléctrica Mediante Método 2	29
2.2.5.4	Diagrama de Carga Final para el Año Base	30
2.2.5.5	Proyección del Diagrama de Carga a fines del Proyecto	31

CAPÍTULO 3 :

FUENTES ENERGETICAS ALTERNATIVAS EN LA SELVA BAJA

3.1	Generalidades	
3.2	Fuentes Convencionales : Combustibles Fósiles	51
3.2.1	Petróleo	52
3.2.2	Gas Natural	52
3.3	Fuentes Alternativas: Energías No Convencionales	53
3.3.1	Energía Eólica	54
3.3.1.1	Características del Recurso Eólico en la Selva Baja	54
3.3.1.2	Usos Adicionales de la Energía Eólica	55
3.3.2	Energía Solar	56
3.3.2.1	Evaluación de la Radiación Solar	56
3.3.2.2	Generación de Energía Eléctrica	57
3.3.2.3	Usos Adicionales de la Energía	

	Solar	59
3.3.3	Energía Hidráulica	60
	3.3.3.1 Características del Recurso Hídrico	60
	3.3.3.2 Turbinas Flotantes	62
3.3.4	Energía Geotérmica	65
	3.3.4.1 Manifestaciones Geotérmicas	66
	3.3.4.2 Aplicaciones Posibles	66
3.3.5	Energía Forestal	67
	3.3.5.1 Evaluación del Recurso Forestal	67
	3.3.5.2 Utilización Energética	69

CAPITULO 4 :

LA BIOMASA FORESTAL COMO UNA GRAN RESERVA ENERGETICA EN LA SELVA BAJA

4.1	La Biomasa Forestal en el Perú	85
4.2	Potencial Forestal de la Selva Baja	87
	4.2.1 Potencial Forestal del Departamento de Loreto	88
	4.2.2 Potencial Forestal del Departamento de Ucayali	89
	4.2.3 Potencial Forestal del Departamento de Madre de Dios	90
4.3	Tipos de Bosques existentes en la Selva peruana	91
	4.3.1 Bosque Aluvial Clase I	91
	4.3.2 Bosque Aluvial Clase II	92
	4.3.3 Bosque Aluvial Clase III	93
	4.3.4 Bosque de Colinas Clase I	94
	4.3.5 Bosque de Colinas Clase II	95
	4.3.6 Bosque de Colinas Clase III	95
4.4	Especies y Tipos de Maderas	97
	4.4.1 Maderas Blandas	97
	4.4.2 Maderas Semiduras	97
	4.4.3 Maderas Duras	98

CAPITULO 5 :

TRANSFORMACION Y APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LA BIOMASA FORESTAL

5.1	Conversión Natural o Bioconversión	104
5.1.1	Capacidad Energética de la Bioconversión	106
5.1.2	Composición de la Madera	107
5.1.2.1	Composición Química	107
5.1.2.2	Composición Elemental	108
5.1.2.3	Características Físicas	109
5.2	Conversión Técnica de la Biomasa Forestal	109
5.2.1	Procesos Termoquímicos	109
5.2.1.1	Carbonización	111
5.2.1.2	Combustión Directa	112
5.2.1.3	Gasificación	115
5.2.1.4	Licuefacción	116
5.2.2	Procesos Bioquímicos	117
5.2.2.1	Fermentación Anaerobia	118
5.2.2.2	Fermentación Alcohólica	120
5.2.3	La Combustión Directa de la Leña para la Generación de Potencia	122
5.3	La Dendroenergía o Aprovechamiento Energético de la Biomasa Forestal	126
5.3.1	La Madera como Combustible	126
5.3.1.1	Combustible Leña	127
5.3.1.2	Combustible Carbón Vegetal	128
5.3.2	Planes de Manejo del recurso forestal: Métodos de reforestación, cuantificación y programa de explotación	130
5.3.2.1	Regeneración Natural	130
5.3.2.2	Regeneración Natural con Enri- quecimiento	132
5.3.2.3	Tala Rasa y Reforestación	135
5.3.3	Manejo de Combustibles Biomásicos Adicio- nales	136
5.3.3.1	Desechos Agrícolas	138
5.3.3.2	Desechos Agroindustriales	138
5.3.4	Evaluación energética de la Biomasa explotable como combustible	140
5.3.4.1	Energía de los Recursos Fores- tales	140

5.3.4.2	Energía de los combustibles Biomásicos adicionales	140
5.4	La Dendroenergía como solución energética renovable en zonas marginales de la Selva Baja	142
5.4.1	Campo de Aplicación	142
5.4.2	Ventajas	144
CAPITULO 6 :		
PLANTAS DENDROTERMICAS PARA GENERACION DE ELECTRICIDAD		
6.1	Plantas Dendrotérmicas mediante Gasificación	173
6.1.1	Evolución Histórica	173
6.1.2	Tipos de Gasificadores	174
6.1.2.1	Gasificadores de Corriente Ascendente o de Contracorriente	174
6.1.2.2	Gasificadores de Corriente Descendente o de Cocorriente	175
6.1.2.3	Gasificadores de Corriente Cruzada	176
6.1.2.4	Gasificadores de Lecho Fluidizado	177
6.1.3	Aplicaciones de la Gasificación de Biomasa	178
6.1.3.1	Producción de gas combustible para calor	178
6.1.3.2	Producción de Energía Mecánica y Eléctrica	178
6.1.3.3	Aplicaciones en el sector automotriz	180
6.1.4	Principio de transformación energética en un Electrogasógeno	181
6.1.5	Componentes principales de un Electrogasógeno	181
6.1.5.1	El Gasificador o Gasógeno	181
6.1.5.2	El Motor de Combustión Interna	182
6.1.5.3	El Generador Eléctrico	183
6.2	Plantas Dendrotérmicas de Combustión Directa	185

6.2.1	Evolución Tecnológica	185
6.2.2	Aplicaciones	187
6.2.2.1	Generación de Energía Mecánica y Eléctrica	187
6.2.2.2	Optimización y Ahorro de Energía en plantas industriales	188
6.2.3	Principio de transformación energética en una Planta Dendrotérmica de Combustión Directa	189
6.2.4	Componentes principales de una Planta de generación de combustión directa	190
6.2.4.1	El Generador de Vapor	191
6.2.4.2	La Máquina Motriz	191
6.2.4.3	Sistema de alimentación de agua	193
6.2.4.4	El Generador Eléctrico	194
6.3	Imagen de las Plantas Dendrotérmicas frente a los sistemas convencionales dependientes del petróleo	194
6.3.1	Imagen Mundial	194
6.3.2	Imagen Nacional	197
6.3.3	Características comparativas entre plantas Dendrotérmicas y Grupos Electrógenos	198
6.4	Elección de la mejor alternativa Dendrotérmica	201
6.4.1	Punto de vista Técnico	202
6.4.2	Punto de vista Energético	203
6.4.3	Punto de vista de Salud y Medio Ambiente	204
6.4.4	Punto de vista de Aceptación Social	205

CAPITULO 7 :

PLANTA DENDROTERMICA CON SISTEMA CALDERA DE LEÑA-MAQUINA DE VAPOR PARA CUBRIR DEMANDA DE 160 KW_e

7.1	Generalidades	219
7.2	Sistema de Generación de Energía Mecánica	220
7.2.1	Elección de la máquina Motriz	220
7.2.2	Clasificación de las máquinas de vapor	224
7.2.3	Regulación de Velocidad de la Máquina de	

	Vapor	229
7.2.4	Parámetros característicos de una Máquina de Vapor	230
7.2.4.1	Potencia Indicada	230
7.2.4.2	Potencia Efectiva	233
7.2.4.3	Eficiencia Mecánica	233
7.2.4.4	Eficiencia Interna	233
7.2.4.5	Eficiencia Efectiva	234
7.2.4.6	Consumo Mínimo de Vapor	234
7.2.5	Selección de la Máquina de Vapor	235
7.2.5.1	Evaluación de Parámetros	235
7.2.5.2	Aspectos Técnicos de Adquisición de la Máquina de Vapor	238
7.2.5.3	Características Técnicas de la Máquina de Vapor seleccionada	239
7.2.5.4	Cuadro de parámetros técnicos	240
7.3	Sistema de Generación de Vapor	240
7.3.1	Componentes fundamentales de una Caldera de Leña	241
7.3.1.1	El Hogar	241
7.3.1.2	La Cámara de Combustión	243
7.3.2	Tipos de Calderas de Leña	245
7.3.2.1	Calderas Piro-tubulares	246
7.3.2.2	Calderas Acuotubulares	249
7.3.2.3	Calderas Mixtas	250
7.3.2.4	Calderas con Hogar de Lecho Fluidizado	251
7.3.3	Rendimiento Térmico de una Caldera de Leña	252
7.3.3.1	Rendimiento Térmico Estimativo	253
7.3.3.2	Rendimiento Térmico Real	254
7.3.4	Selección de la Caldera	255
7.3.4.1	Evaluación de Parámetros	256
7.3.4.2	Aspectos Técnicos de Adquisición de la Caldera de Leña	257
7.3.4.3	Características Técnicas de la Caldera seleccionada	259

7.3.4.4	Cuadro de parámetros técnicos	263
7.4	Evaluación de la Demanda de Combustible	263
7.4.1	Determinación de la Demanda de Combustible	263
7.4.1.1	Energía del Combustible Requerida	263
7.4.1.2	Consumo Horario de Combustible Leña	264
7.4.1.3	Demanda Anual de Leña	265
7.4.1.4	Area de Bosque Energético requerido según Método de Reforestación	265
7.4.1.5	Determinación del Bosque Energético según Método de Reforestación	267
7.4.2	Preparación y Aprovechamiento de Combustible	269
7.4.2.1	Tala y Extracción	270
7.4.2.2	Transporte	271
7.4.2.3	Almacenamiento	271
7.4.3	Combustibles Biomásicos Adicionales	273
7.5	Sistema de Generación de Energía Eléctrica	274
7.5.1	El tipo de Generador Eléctrico	274
7.5.2	Componentes principales del Generador	275
7.5.2.1	Sistema de Excitación del Generador Síncrono	275
7.5.2.2	Sistema de Regulación de Tensión	276
7.5.2.3	Sistema de Protección	277
7.5.3	Parámetros característicos del Generador Eléctrico	277
7.5.3.1	Potencia de Generación	277
7.5.3.2	Eficiencia de Generación	278
7.5.3.3	Tensión de Generación	279
7.5.3.4	Velocidad de Rotación	279
7.5.4	Selección del Equipo de Generación Eléctrica	280
7.5.4.1	Evaluación de Parámetros	280

7.5.4.2	Aspectos Técnicos de adquisición del Generador Eléctrico	281
7.5.4.3	Características Técnicas del Generador seleccionado	282
7.6	Sistema Eléctrico Complementario	283
7.6.1	Tableros de Control, Protección y Medida	283
7.6.1.1	Unidades de Medición	283
7.6.1.2	Unidades de Control y Protección	284
7.6.1.3	Aspectos Técnicos de adquisición del Tablero	285
7.6.1.4	Características Técnicas del Tablero seleccionado	286

CAPITULO 8 :

EVALUACION ECONOMICA

8.1	Determinación del Costo de Combustible	300
8.1.1	Costos de Tala y Extracción	300
8.1.2	Costos de Transporte	302
8.1.3	Costos de Almacenamiento	302
8.1.4	Costos por Infraestructura	303
8.1.5	Incidencia de la Reforestación en el Costo de la Leña	304
8.1.6	Costos de Combustibles Biomásicos Adicionales	307
8.2	Metodología para evaluar Costos Comparativos de Generación Eléctrica	309
8.2.1	Método del Valor Anual Equivalente	309
8.2.2	Método del Valor Actual	310
8.2.3	Tiempo de Recuperación de Capital Invertido	312
8.3	Identificación de Costos de Inversión	312
8.3.1	Inversión Fija	312
8.3.1.1	Maquinaria y Servicios	312
8.3.1.2	Obra Civil	314
8.3.1.3	Flete y Seguros	314
8.3.1.4	Montaje y Ensayos	314

8.3.1.5	Proyecto y Supervisión	315
8.3.1.6	Gastos Otros	315
8.3.2	Costos de Operación de la Planta	315
8.3.2.1	Combustibles	315
8.3.2.2	Lubricantes	316
8.3.2.3	Mantenimiento y Repuestos	317
8.3.2.4	Sueldos y Jornales	317
8.4	Cálculo del Costo KWh Generado	317
8.4.1	Cálculo del Valor Económico y Valor Actual del KWh	318
8.4.2	Tiempo de Recuperación de Capital	323
8.4.3	Cuadro Comparativo y Diagrama de Costos	324
CONCLUSIONES		329
BIBLIOGRAFIA		336
APENDICE 1		
APENDICE 2		
ANEXO 1		

P R O L O G O

El presente trabajo está comprendido desde el análisis del mercado energético de la Selva Baja peruana, hasta la evaluación técnica y económica de una Planta Dendrotérmica de Combustión Directa con sistema Caldera de Leña-Máquina de Vapor con capacidad para satisfacer la demanda eléctrica de una localidad típica representativa de esta región.

En el capítulo 2 se hace el análisis del mercado energético de la Selva Baja, tomando como referencia el estudio socio-económico realizado por el Centro de estudios de Energía Renzo Tasselli, CESEN de Italia, en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas del Perú. A partir de éste, se evalúa el mercado energético de la localidad típica, de donde se obtiene su demanda eléctrica actual y proyectada.

En el capítulo 3 se realiza el análisis de las fuentes energéticas existentes en la Selva Baja, del punto de vista técnico, económico y estratégico de su posible aprovechamiento. De acá se determina la fuente más conve-

niente de explotar para la generación de potencia de pequeña escala.

En el capítulo 4 se realiza la evaluación del potencial energético biomásico de la Selva Baja a nivel interdepartamental y desagregado de acuerdo al tipo de bosque natural existente. Así también se clasifican las especies y tipos de madera.

El capítulo 5 está referido al estudio en detalle de la transformación y aprovechamiento energético de la Biomasa Forestal; es decir, se analiza la naturaleza físico-química de la biomasa forestal, los procesos técnicos de conversión en combustible energético y su aprovechamiento energético racional y planificado en zonas alejadas de la Selva Baja.

En el capítulo 6 se hace el análisis de los tipos de plantas dendrotérmicas para generación de electricidad; es decir, la evolución tecnológica, las características constructivas, el funcionamiento, sistemas componentes y el campo de aplicación de cada una de ellas. Asimismo se realiza la comparación de estas plantas dendrotérmicas frente a los grupos electrógenos diesel y, la comparación entre una Planta Dendrotérmica de Combustión Directa y una de Gasificación (Electrogasógeno), para finalmente elegir la más conveniente a ser utilizada como tal en la zona de influencia .

El capítulo 7 trata sobre el estudio técnico de la -

Planta Dendrotérmica de Combustión Directa con sistema - Caldera de Leña-Máquina de Vapor, con capacidad de 160 KW_e para satisfacer demanda eléctrica de la localidad típica identificada como Puerto Inca. Acá se realiza la identificación, dimensionamiento y selección de los sistemas componentes de la planta, conjuntamente con la determinación y preparación del combustible biomásico requerido.

En el capítulo 8 se hace la evaluación económica de la planta proyectada. Se determina el costo del combustible biomásico, los costos de inversión fija y de operación y, la comparación del costo KWh generado por la planta dendrotérmica proyectada frente al generado por un grupo electrógeno.

Quiero hacer llegar mi agradecimiento al Ing. Rodolfo Zamalloa Lopez, por su asesoría en el desarrollo del presente trabajo, a la Secretaría Técnica del Consejo Nacional de Energía del Ministerio de Energía y Minas, a la Oficina de Energías No Convencionales de la Gerencia Técnica de ELECTROPERU, a la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales -ONERN-, a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria y demás personas e instituciones que me brindaron su apoyo para el desarrollo de la presente Tesis.

I N T R O D U C C I O N

La Selva Baja peruana es una región que se caracteriza por la gran existencia de recursos naturales, pero que a la vez en la actualidad la mayoría de sus pueblos se encuentran rezagados del progreso social, económico y tecnológico.

La disponibilidad racional de energía eléctrica es el medio indispensable para el avance integral de un pueblo o región, en efecto surge el presente estudio, el cual está orientado hacia la generación de electricidad a partir del aprovechamiento de los recursos energéticos autóctonos, abundantes y renovables.

Entre los elementos que fundamentan la hipótesis se tienen :

- La existencia de muchos pueblos dispersos en la Selva Baja con urgentes necesidades de energía eléctrica; anteriormente algunos de estos pueblos fueron electrificados con grupos electrógenos diesel, pero que a la actualidad no han alcanzado el éxito esperado, debido fundamentalmente a la escasez y los altos costos del combustible petróleo en el sitio.

- La existencia de un gran potencial forestal en la Selva Baja, con posibilidades de ser utilizado como recurso energético.
- La existencia de la iniciativa para impulsar la política de descentralización en el país; que de hecho, para su consolidación se requiere de satisfacer adecuadamente las necesidades energéticas fundamentales de cada pueblo, en forma estratégicamente planificada.
- La existencia de iniciativa para el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, específicamente la biomasa forestal, por parte de instituciones como el Ministerio de Energía y Minas y Electroperú.
- Actualmente existen entidades internacionales de cooperación técnica y financiera para el desarrollo de las fuentes alternativas de energía.

El propósito de la tesis básicamente consiste en :

- Dar una visión general del mercado energético de la Selva Baja peruana, a partir del cual se hace la evaluación de la demanda eléctrica de un lugar representativo de la homogeneidad socio-económica y de recursos de esta región; con el fin de proveerle de energía eléctrica a partir de la biomasa forestal. se ha determinado a la localidad de Puerto Inca como el lugar representativo.
- Demostrar que, comparativamente a otras fuentes energéticas alternativas existentes en la Selva Baja, la biomasa forestal es la que ofrece mayores posibilidades de uso dentro de un plan de electrificación de pequeñas localidades que lo conforman.

- Realizar en detalle, el análisis y evaluación de los diferentes procesos de conversión termoquímica y bioquímica de la biomasa forestal para su uso como combustible energético.
- Dentro del aprovechamiento energético de la biomasa forestal para generación de potencia, plantear planes de manejo del bosque tales que garanticen el abastecimiento pleno, el carácter renovable de esta fuente y la preservación del equilibrio ecológico.
- Realizar el estudio de las tecnologías dendrotérmicas, con la finalidad de hacer la mejor elección y la proyección hacia la construcción integral con materia e ingeniería nacional.
- Realizar el estudio de factibilidad técnica y económica de la planta Dendrotérmica de combustión directa con capacidad para satisfacer la demanda eléctrica del lugar representativo; Puerto Inca.

La importancia que cobra el abastecimiento eléctrico racional y económico en los pueblos de la Selva Baja se refleja en el desarrollo social, económico, técnico, cultural e integracionista entre ellos. El uso de la biomasa forestal para la generación eléctrica crea nuevas fuentes de trabajo, la corrección en el uso adecuado de la foresta, su comercio formal y el trabajo comunal.

El alcance del presente trabajo también se orienta a dar las pautas técnicas y económicas para la realización de estudios de instalación de plantas para generación de-

electricidad, calor y fuerza en centros agroindustriales - (madereros, arroceros..) ubicados en la Selva ;a partir de la utilización de los desechos o residuos provenientes del procesamiento de la materia prima. Hoy en día la mayoría de estos centros agroindustriales tienen problemas por el alto costo de la energía utilizada (obtenida por grupos de generación diesel o de gasolina), y por el espacio y evacuación de dichos residuos o desechos que a la vez se tornan polucionantes del medio.

El factor limitante en el desarrollo de la Dendroenergía para la generación eléctrica, dentro del marco analizado, es el financiero por parte del estado .En este sentido queda el presente estudio para ser tratado como tal y se considere como una alternativa dentro de la elaboración - del plan energético acorde a la realidad de nuestro país.

C A P I T U L O 2

ESTUDIO DE MERCADO ENERGETICO

2.1 El Mercado Energético en la Selva Baja

La lejanía y la dispersión de los pueblos de la Selva Baja peruana hace que la mayoría de estos se encuentren marginados por parte del gobierno central. Si se parte de que esta región encubre una inmensa y variada riqueza natural, y a la vez se tiene una política de descentralización del Perú, entonces, es de singular importancia implementar un plan de desarrollo energético de todos estos pueblos de acuerdo a sus recursos de energía propios.

La falta de información precedente acerca del mercado energético de la Selva Baja condujo a que, dentro del acuerdo entre el Ministerio de Energía y Minas-CONERG-, y el Centro de Studi Energía Renzo Tasselli-CESEN-de Italia realizaran un estudio energético de esta región.

El estudio se hizo dividiendo a la selva Baja en Microregiones bajo principios socio-economicos y de recursos energéticos ; luego se fijaron lugares representativos para realizar encuestas fundamentalmente sobre la demanda de energía de un año representativo (1985). Con estos datos utilizados

como entrada a un apropiado modelo econométrico fueron obtenidos los pronósticos de la demanda de energía por uso final y fuente energética. Este estudio fue orientado a sectores con posibilidad de sustitución con energía eléctrica. Para los objetivos del presente, es de gran importancia los estudios realizados por CESEN que por la metodología utilizada se puede pronosticar con buen margen de seguridad el mercado eléctrico de cualquier localidad de la Selva Baja.

2.1.1 Microregionalización de la Selva Baja

La Selva Baja peruana compuesta en mayoría por los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios se ha dividido en microregiones con la finalidad de determinar unidades homogéneas del punto de vista político, social, económico y de recursos naturales. Para su realización se tubo en cuenta los siguientes aspectos principales:

- El nivel de urbanización y jerarquía
- El tipo de actividad económica
- Infraestructura: Principalmente redes de comunicación, nivel de accesibilidad, suministro de energía eléctrica entre otros.
- Nivel de dependencia con respecto a los centros urbanos de mayor jerarquía.
- Nivel de importancia estratégica tanto del punto de vista geopolítico (fronteras) como del punto de vista energético.

El número de microregiones delimitadas son 17, sus denominaciones se inician con el río que surca la microregión, seguido de la localidad mas importante .

En el cuadro(2-1) y en la figura(2-1) se muestra la distribución de las microregiones.

2.1.2 Homogeneidad de las Microregiones

El Perú está caracterizado por la alta concentración de los diferentes sectores económicos en las grandes ciudades. Las regiones rurales y los demás centros poblados están supeditados a la jerarquización urbana; la cual en el caso de la selva está dirigida por Iquitos (y a otros niveles por Pucallpa y Yurimaguas) en la Macroregión Norte; mientras que en la Macroregión sur está dirigida por Puerto Maldonado.

Independientemente de esta jerarquización y concentración, luego, al analizar los recursos naturales y las diferentes actividades socio-económicas se podrá ver que a nivel de la selva Baja (más aún si se lo divide en dos grandes regiones norte y sur), se presenta un cierto nivel de homogeneidad.- Esto quiere decir que, los recursos, las actividades económicas, los servicios incluyendo los energéticos, se encuentran más o menos al mismo nivel de desarrollo relativo (características comunes a las microregiones).

Entre las actividades económico-sociales y los recursos que corroboran este grado de homogeneidad se tienen:

2.1.2.1 Actividades Económico-Sociales

- Actividad Petrolera

Se caracteriza por ser puntual y afecta mínimamente la dinámica socio-económica de las regiones vecinas puesto que la mayor parte de los trabajadores de esta actividad no es originaria de la región y vive en enclaves urbanos

y socio-económicos, y por tanto no reduce el nivel general de homogeneidad de la selva Baja.

- Actividad Forestal (madera, flora y fauna)

Esta actividad es bastante similar a lo largo de toda la selva y consiste básicamente en extraer las especies vegetales (principal actividad extractiva maderera de la selva baja) y animales (caza y pesca) que puedan ser comercializables a utilizadas para consumo inmediato.

Estas actividades son similares hasta en los métodos de extracción que por lo general es selectiva y altamente depredadora.

- Actividad Agropecuaria

En casi toda la selva Baja se cultiva en zonas de inundación y es mínima comparativamente al potencial agrícola disponible. Las actividades pecuarias son generalmente complementarias a la actividad forestal, agrícola y pesquera ;y constituye un complemento alimenticio (aves y porcinos) o de ingreso (vacunos) del hombre de la selva.

- Actividades Industriales

Un común denominador en la actividad industrial de la Selva Baja es el considerable déficit de energía demandada. Esto permite que los costos de producción aumenten y consecuentemente disminuyan los incentivos de los inversionistas a pesar de las ventajosas garantías fiscales dadas en esta región.

- Servicios en General

Presentan el nivel más bajo de desarrollo relativo con

respecto al resto del país. El nivel de cobertura es bastante bajo y la calidad del servicio deficiente.

- Comercio

Es una de las actividades mas importantes pero que en algunos casos este se limita en gran medida al pequeño comercio callejero(informal) el cuál no representa un aporte significativo a la actividad económica. A nivel rural el comercio se realiza primordialmente en forma de trueque.

- Administración Pública

Está concentrado principalmente en las capitales de departamento desarrollándose allí la mayor inversión del estado la cual está dedicada principalmente al mejoramiento de la infraestructura urbana ;mientras que las capitales de provincia,distrito y pueblos en general de toda la región la atención por parte del estado es mínima.

- Servicios Eléctricos

En toda la Selva Baja no existen redes interconectadas de distribución de energía eléctrica,solamente existen plantas de generación eléctrica de pequeña dimensión las cuales son insuficientes. La mayor parte de las plantas, administradas por Electroperú o por los consejos municipales,son viejos,con grandes problemas de mantenimiento y frecuentemente con fallas en los motores.Todos los grupos de generación eléctrica son electrógenos diesel y cubren generalmente una mínima parte de la demanda de la población,con mínima cantidad de horas de servicio diario.

2.1.2.2 Recursos

Los recursos naturales en la Selva Baja peruana se hallan distribuidos en forma bastante homogénea, excepto el oro y el petróleo. Los recursos más difundidos son los forestales, generan una explotación fundamentalmente extractiva y ocupan a la mayor cantidad de habitantes. Bosques heterogéneos, en cuanto a la diversidad de especies, se presentan más o menos homogéneamente repartidos sobre toda la superficie. Así la biomasa forestal ofrece grandes posibilidades de aprovechamiento como fuente energética de conversión a energía final, en los pueblos de esta región.

2.1.3 Evaluación energética en las Microregiones

Con la finalidad de evaluar de una manera objetiva el mercado energético de la Selva Baja, el acuerdo CESEN - MEM realizó encuestas paralelas en lugares representativos, cuyos objetivos específicos fueron :

- Cuantificar el consumo energético por fuente y uso final de estos lugares, luego recalibrados mediante técnicas adecuadas y con estos pronosticar la demanda de energía modelada en función de variables socio-económicas.
- Evaluar los requerimientos de energía eléctrica y su actual situación de suministro.
- Proyectar las curvas de demanda eléctrica en las microregiones mediante patrones referenciales.

La encuesta sobre la Demanda de Energía, tubo como objetivo recolectar los datos referidos a la estructura y nivel de los consumos energéticos propios en las áreas

de interés, sobre una muestra representativa de cada sitio y orientada a la formulación del pronóstico de la demanda energética en la Selva Baja. Esta encuesta realizada en Iquitos, Requena, Pucallpa, Iparia e Iberia lleva a resultados tales como :

- La fuente energética de mayor consumo en el sector residencial es la leña (80 % del consumo total excluyendo el consumo para transporte), luego le sigue el kerosene en áreas rurales y la electricidad en las áreas urbanas. Las eficiencias de utilización son extremadamente bajas.
- En el sector comercio y pequeña industria se tiene un mayor consumo de energía eléctrica autoproducida en más del 75 % ,utilizando generalmente grupos electrógenos diesel, los que funcionan con muy reducidas eficiencias y factores de carga. Sumado a esto, los altos costos del combustible y lubricantes en el sitio hacen que los costos de generación sean muy elevados.
- En cuanto al consumo per cápita de fuentes no comerciales (leña), en el sector residencial es de 3,500 Megacalorías por año, valor similar a otras áreas latinoamericanas ;mientras que el consumo eléctrico per cápita es de 175 Kwh/año, valor inferior a la media nacional (240 Kwh/año) y más aun a la media latinoamericana (600 a 800 Kwh/año).

De estos resultados claramente se puede ver que la Selva Baja se encuentra energeticamente desabastecida y desorientada.

da en el correspondiente aprovechamiento y uso de la energía primaria y final.

2.1.4 La Demanda de Energía

Obtenidos los datos de la encuesta, los pronósticos de la demanda energética por uso final y tipo de fuente fueron obtenidos aplicando modelos econométricos apropiados en los sectores con posibilidad de sustitución con energía eléctrica (por tal motivo no se ha incluido el sector transporte).

Del análisis de resultados surgen dos puntos importantes :

- Las profundas diferencias encontradas en la tipología de los consumos energéticos del sector residencial en relación con los sectores comercial, industrial y de servicios públicos.
- La sustancial homogeneidad de la estructura de los consumos energéticos en el sector residencial.

El primer punto lleva a dividir el modelo de previsión en dos partes distintas desde el punto de vista de la estructura de las ecuaciones y de las variables aplicadas; esto es, una para el sector residencial y otra para el sector industrial, comercial y de servicios públicos. Además se agrega una tercera parte, relativa a la distribución horaria del consumo total de energía eléctrica en las curvas de carga diaria, para cada área estudiada.

El segundo punto lleva a la constatación que el nivel de los consumos energéticos en el sector residencial es función del ingreso y de la dimensión de las familias para todos los lugares encuestados.

Resultados basados en datos de la encuesta y luego recalibrados en un análisis de cruce (con experiencias latinoamericanas similares) se obtienen los consumos medios de energía final per cápita en el sector residencial y se muestran en el cuadro (2-2) .

CESEN adopta los siguientes modelos correspondientes para cada sector y para la distribución horaria del consumo eléctrico de los lugares representativos.

2.1.4.1 Modelo del Sector Residencial

Para la previsión de la demanda energética en este sector, se ha utilizado un modelo macroeconómico, basado en las cuotas de "mercado" o de "participación" de cada una de las fuentes para los usos finales considerados.

Los usos finales estudiados son: cocina, iluminación y aparatos domésticos, mientras que las fuentes energéticas son: combustibles sólidos, kerosene y electricidad. Aquí se excluyen los consumos de energía en el transporte y en la actividad productiva primaria ya que no ofrecen posibilidades de sustitución directa con la energía eléctrica.

Este modelo de demanda es unitario y completo puesto que, a la vez que encara el problema de la sustitución de las fuentes, también determina la entera medida de la demanda a nivel sectorial y global.

La estructura del modelo está constituida de dos bloques principales ; en el primero se calcula la demanda de energía útil por cada uso, sin considerar el tipo de fuente, y en el segundo bloque esta demanda viene separada según las diversas cuotas de energía atribuidas a cada fuente considerada

en cada uso. Entonces la demanda de energía útil por uso "i" y fuente "j", " U_{ij} " para cada familia estará dada por la expresión :

$$U_{ij} = f (U_i , S_{ij})$$

donde:

U_i :demanda de energía útil por uso "i" para todas las fuentes. Obedece a variables socioeconómicas y al precio medio ponderado de la energía en términos útiles " P_i ".

S_{ij} :cuota de energía de la fuente "j"en el uso final "i". Obedece al ingreso familiar "Y" y al precio de la fuente "j" en el uso final "i" en términos útiles " P_{ij} ".

Con el uso de los datos relativos a las localidades encuestadas, el análisis econométrico realizado para el modelo del sector residencial ha suministrado los siguientes resultados : Para las ecuaciones referidas a la demanda de energía útil " U_i ", la expresión se da en forma potencial, mientras que para las ecuaciones de sustitución interfuentes " S_{ij} " se ha adoptado la forma lineal; esto es:

$$U_i = \alpha Y^\delta P_i^\theta \quad (\text{Gcal/año})$$

Y (miles USS/año); P_i (USS/Mcal)

$$S_{ij} = a_{ij0} + \sum_{k=1} a_{ijk} P_{ik} + a_{ij(n+1)} Y = U_{ij}/U_i$$

donde:

Los coeficientes regresivos son: $\alpha, \delta, \theta, a_{ijk}$ y $a_{ij(n+1)}$ cuyos valores se muestran en los cuadros (2-3) y (2-4).

La conversión de energía útil a energía final se realiza

mediante la expresión :

$$F_{ij} = U_{ij} / \eta_{ij}$$

donde:

F_{ij} :demanda de energía final por uso "i" y fuente "j" para cada familia.

U_{ij} :demanda de energía útil por uso "i" y fuente "j"

η_{ij} :eficiencia media de la fuente "j" en el uso "i"

Para determinar el consumo por uso y fuente para cada localidad se aplica la siguiente expresión :

$$F_{ije} = F_{ij} \cdot ge \cdot Pe / m$$

donde:

F_{ije} : demanda de energía final por uso "i" y fuente "j" en la localidad "e".

Pe :población de la localidad "e"

m :número de miembros por familia. Se asume constante para todas las áreas consideradas :5.5

ge :grado de electrificación de la localidad "e"

2.1.4.2 Modelo del Sector Industrial, Comercial y de Servicio Público

El análisis para estos sectores parte de las siguientes consideraciones :

- Se ha individualizado los subsectores particularmente interesantes desde el punto de vista de la planificación energética .
- Para cada sub-sector, se ha delineado unidades productivas "tipo", sea por el número de empleados , - por la estructura de consumos energéticos, por uso

- y fuente y calculado el consumo energético específico medio por fuente y uso final.
- Por cada área se han hecho evaluaciones sobre el incremento de la unidad productiva operante en cada sub-sector.
 - Se ha calculado los consumos futuros aplicando los los consumos medios por la unidad productiva prevista .

Los subsectores considerados son tres: el sub-sector industrial aserrios, sub-sector otras industrias y el sub-sector comercio y servicios públicos.

Los usos finales considerados son : Fuerza motriz , iluminación , refrigeración , aire acondicionado/ventilación, cocina procesos térmicos a baja temperatura y procesos térmicos a media/alta temperatura; mientras que las fuentes utilizadas consideradas son: combustibles sólidos, kerosene, gas licuado de petróleo, diesel y electricidad.

2.1.4.3 Curvas de Carga de Energía Eléctrica

Las curvas medias de energía eléctrica para el año base se han determinado conjugando el modelo de demanda en los cuatro sectores vistos y el relativo a las curvas de carga diaria de energía eléctrica.

Referente al sector residencial, la curva de carga media para cada localidad se obtiene de :

$$K_{he} = f (K_{he} , F_{je})$$

donde:

K_{he} : curva de carga media por localidad "e"

K_{he} : estructura de la curva por localidad "e". Distri-

bución horaria .

Fje :energía eléctrica global final por localidad "e".
obtenida de Fije donde la fuente es electricidad
para los tres usos.

Referente a los sectores, industrial, comercial y de servicios públicos han sido calculados las curvas de carga del año base ;el análisis e individualización de las mismas se ha efectuado sobre la base de la unidad productiva tipo y operativamente, en la forma descrita para el sector residencial.

2.1.5 La Demanda Eléctrica :Pronósticos y Programa de Intervención

2.1.5.1 Pronósticos de la Demanda Eléctrica en la Selva Baja

Uno de los objetivos del estudio de la demanda energética es cuantificarlo, y en especial la energía eléctrica, en el mediano y largo plazo para cada una de las localidades de interés de la selva Baja. Para el pronóstico de la demanda en estas localidades, el modelo considera las siguientes variables explicativas :crecimiento demográfico, ingreso, grado de electrificación, ocupación de los principales sectores productivos y, los precios de los energéticos.

Cada una de estas variables varían en el tiempo con respecto al año base, de tal forma que para realizar la proyección de la demanda energética dentro de un periodo de acción o influencia tal, se han previsto tasas medias de crecimiento correspondientes a cada variable y en cada localidad.

Los lugares a electrificar escogidos para la aplicación del modelo econométrico fueron elegidos en base a los siguientes parámetros:

- Cada sitio debía poseer el año 1985 una población entre 300 y 6000 habitantes
- Deben ser considerados en los programas de electrificación de las corporaciones de desarrollo de cada departamento, o en los programas correspondientes de Electroperú.
- El año de incorporación probable al sistema electrificado no debía superar el año 2005 y sería priorizado con criterio de factibilidad en función a la cercanía a los centros mayores habitados y a su potencialidad demográfica.

2.1.5.2 Programa General de Intervención en la Selva Baja

Para decidir el plan de electrificación de un determinado lugar no basta conocer simplemente su problema energético. En el caso de la Selva Baja existen otros factores no necesariamente afines a la energía eléctrica que es necesario considerar en la elaboración de un plan de electrificación. Dentro de este plan se han fijado fechas posibles de electrificación de localidades de acuerdo a su nivel de importancia. Este nivel de importancia depende a su vez del tamaño de población (Obtenido de la microregionalización), de la oferta actual de electricidad (confiabilidad de funcionamiento) y la existencia de proyectos de electrificación o planes por parte de una entidad representativa del estado. Con este criterio las localidades más importantes tendrán la prioridad de electrificarse con mayor prontitud. En el cuadro (2-5) se ilustra un cronograma tentativo de electrificación o ampliación del actual sistema eléctrico en

las localidades de la Selva Baja, realizado por CESEN en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas.

2.1.6 La Oferta existente de Energía Eléctrica

Mediante el programa de microregionalización se alcanzaron a 99 las localidades con poblaciones de 300 a 50,000 habitantes posibles a ser electrificados; dentro de estos existen algunos que disponen de grupos diesel, unos con problemas de déficit de energía suministrada, otros con funcionamiento irregular debido a la obsolescencia de los grupos electrógenos que limitan su confiabilidad, y casi todos en general con problemas de déficit de rentabilidad por el alto costo que deben pagar por el consumo de combustible petróleo. Las demás localidades (que son mayoría), no disponen de servicio eléctrico.

2.2 El Mercado Energético de una Localidad específica : Puerto Inca

De la interrelación, disponibilidad de recurso energético-tecnología apropiada de conversión objetivo principal del presente, frente a la homogeneidad microregional de la Selva Baja; surge la idea de elegir el lugar típico representativo de esta región, para iniciar el estudio de electrificación mediante la tecnología que se propone. Uno de los lugares que reúne las condiciones es Puerto Inca.

2.2.1 Características generales de Puerto Inca

Se encuentra en la provincia de Pachitea, departamento de Huánuco y corresponde a la microregión Pachitea-

Pichis-Palcazu de la Selva Baja central . Se ubica a orillas del río Pachitea a 190 m.s.n.m y está designado como un centro de desarrollo rural. La población urbana alcanzó en 1983 aproximadamente 1,300 habitantes.

En cuanto al sistema de comunicaciones, el valle del Pachitea tiene comunicación con otros asentamientos poblacionales vía fluvial, aprovechando la navegabilidad del río Pachitea ; el transporte de cargamento se hace en embarcaciones hacia Puerto Bermudez y Pucallpa. Gracias a la existencia de aeródromos acondicionados en Puerto Inca y otras pequeñas localidades, existe el servicio aéreo de transporte de pasajeros y carga donde los costos de transporte no abedecen a una tarifa fija .

En lo que se refiere a los consumos energéticos se tiene: En el uso doméstico las fuentes utilizadas se distribuyen en los siguientes porcentajes : 46% kerosene, 24% kerosene y leña , 28% leña y 2% GLP. La leña es autoproducida en la totalidad de los casos considerados y no existe un comercio formal de esta.

El kerosene es el energético mayormente utilizado y se consume en un promedio estimado por familia de 0.7 Gal/día.

En cuanto a la iluminación las familias no conectadas a la red eléctrica (mínima y deficiente), utilizan lámparas de kerosene con un consumo medio de 1 Gal./semana.

2.2.2 Actividades Económicas

Se consideran la agricultura y la agroindustria Para nuestro objetivo se trata de evaluar la calidad y la cantidad de biomásas localmente explotables así como tam -

bién el equipo energético relacionado con estas actividades.

2.2.2.1 Agricultura

La agricultura está encaminada al autoconsumo , a excepción del arroz que es comercializado a otras localidades . Los residuos son abandonados en el campo sin darles ningún empleo . La superficie empleada en la producción agrícola anual por tipo de cultivo se muestra en el cuadro (2-7).

2.2.2.2 Agroindustria

Las actividades industriales a 1985 son:

- Embotelladora de Gaseosas: Tiene una producción media de 840 botellas diarias trabajando 8 días mensuales . La energía requerida es suministrada por un pequeño grupo de 9 CV. a gasolina el cuál consume un promedio de 0'65 galones/hora
- Aserraderos : Existen 2 aserraderos que producen madera para la construcción en una cantidad de 1000 pies tablares diarios .El ciclo de trabajo es de 8 horas/día y para el accionamiento de la maquinaria, cada uno dispone de:
 - .1 motor de gasolina de 8 CV. con un consumo máximo de 0.5 gal./hora y un consumo medio de 2.5gal/día.
 - .1 motor honda para alimentar los aparatos eléctricos de 3.5 KW. cuyo consumo de gasolina es de 1.5 gal./día.
 - .1 motor de 16 CV. que acciona una sierra circular y trabaja 20 horas semanales.
- Mercado : Dispone de una cámara frigorífica con ca-

pacidad de 90 m³ accionados por un compresor de 3-5 KW.

- Cámara Frigorífica para pescado : Con compartimientos de 100 m³ cuyo conjunto requiere de 11 KW.

2.2.3 Recursos Energéticos

En cuanto a los recursos energéticos explotables mayormente existentes en este lugar se tienen las biomásas de origen agrícola, agroindustrial y forestal.

2.2.3.1 Biomásas de origen agrícola

Compuesta por residuos provenientes de las actividades agrícolas y las que pueden explotarse son derivados del cultivo de arroz, este es la paja de arroz que puede llegar a producirse 200 a 300 toneladas/año (1985).

2.2.3.2 Biomásas de origen agroindustrial

Se tienen las biomásas provenientes de los aserraderos constituidos por los desechos (trozos de madera, aserrín, etc.) que antes de 1985 llegaron a producirse mas de 100 toneladas/año.

2.2.3.3 Biomásas de origen forestal

La disponibilidad de biomasa explotable es de 100 m³/ha. en promedio (60 ton./ha.) de bosque primario y está ubicado en un radio de 5 a 10 Km. de distancia desde el pueblo; esto es de 8,000 a 32,000 hectáreas de área boscosa disponible. En los capítulos 7 y 8 se hace el respectivo análisis técnico y económico del aprovechamiento del bosque energético

Dotar de energía eléctrica (a un pueblo como este), adecuada-

mente y con recursos energéticos aborígenes en abundancia, hará que, las actividades económicas mejoren y se desarrollen rápidamente, en particular la agroindustria que al mejorar su producción genera más desechos biomásicos, estos al ser utilizados como combustible abaratarán más aún el costo de producción de la energía eléctrica. Cabe indicar que los sectores productivos en esta región hasta ahora han sido particularmente marginados debido a la falta de oferta abundante de energía.

2.2.4 La Oferta Existente de Energía Eléctrica

La ciudad de Puerto Inca dispone de un grupo electrógeno diesel cuyas características son :

Motor :

Constructor	Caterpillar
Modelo	SR - 4
Año de construcción	1981
Revoluciones por minuto	1,800
Combustible utilizado	Diesel 2
Consumo(para 40 KW)	4 gal/hora

Generador

Potencia	55 KW
Frecuencia	60 HZ
Tensión	240 v

Esta central produce electricidad para 4 horas de 24, esto es entre las 18 y 22 horas del día con distribución de carga tal como se muestra en la figura (2-2).

De la curva o diagrama de carga se observa que la producción media de energía eléctrica es de 158 KWh ó 4,740 Kwh

mensuales .De estos resultados es evidente que la demanda de energía eléctrica no está plenamente satisfecha. La configuración del consumo de electricidad por usuario en 1983 se dá en el cuadro siguiente:

CUADRO (2-8)

Distribución del consumo eléctrico
por usuarios

Tipo de uso	N.º	%	KWh/mes	
Residencial	74	76.3	2,580	54.4
Comercial	22	22.7	1,220	25.3
Otros	1	1.0	960	20.3
Total	97	100.0	4,740	100.0

2.2.5 Análisis de la Demanda de Energía Eléctrica

2.2.5.1 Metodología

La evaluación de la demanda eléctrica de la localidad de Puerto Inca se ha realizado mediante dos métodos que consisten en pronosticar el diagrama medio diario de la demanda de energía eléctrica en el año base. Luego de una comparación entre ambos métodos se determina un diagrama de carga final el cuál servirá como hipótesis para la proyección de la demanda a lo largo de la vida del proyecto.

Método 1 :

Se hace un análisis del diagrama de carga medio basándose en un diagrama referencial deducido de la realidad existente de una localidad típica . La elección del lugar típico-

depende del grado de afinidad socio-económica (homogeneidad) existente con respecto al lugar en estudio.

Método 2

El análisis del diagrama de carga se realiza basándose en datos provenientes de una investigación energética en el sitio.

2.2.5.2 Diagrama de carga Eléctrica mediante Método 1

De las características microregionales se observa que, el parámetro de referencia es orientado hacia Puerto - Maldonado (Microregión Tambopata -Distrito Tambopata), quien tiene grán afinidad con la localidad de Puerto Inca.

La demanda eléctrica de Puerto Maldonado está caracterizada por usos de tipo residencial, comercial, industrial y otros que comprenden los servicios generales, utilidades especiales y el alumbrado público.

En el cuadro (2-9) se dá la distribución media diaria de la demanda eléctrica por usos de este lugar referencial, y en la figura (2-3) se muestra la curva de carga media de la central (curva típica real), ambas correspondientes al año 1,983 .

La demanda de energía eléctrica horaria "En "correspondiente a la hora enésima del día dividida entre la energía media diaria dá el factor de distribución horario. Utilizando los datos típicos reales se determina este factor, que por similitud le corresponderá a la localidad en estudio. En el cuadro (2-10) se muestran estos factores de distribución.

Relacionando el valor máximo de potencia ofertado en la l

calidad en estudio con los factores de distribución se obtiene la curva de carga corregida hipotizada correspondiente al año 1,983, la cual se muestra en la figura (2-4). De este diagrama se observa que la producción eléctrica media diaria es de 521 kWh .

Como la población urbana de Puerto Inca en 1983 fué de aproximadamente 1,300 habitantes, entonces la producción diaria de electricidad per cápita sería de 0.4 kWh/hab.día .

Al existir oferta de electricidad (disponibilidad de energía eléctrica), el nivel de consumo aumenta así como también la producción de energía. Si al año 1,992, año base del proyecto, la producción per cápita aumenta a 0.7 kWh/hab.día y el índice de incremento poblacional se estima en un valor medio anual de 2.5 % , entonces la demanda media diaria de electricidad en el año base se calcula en 1,134 kWh.

Con este valor y los factores de distribución se determina la curva o diagrama de carga del consumo neto de electricidad correspondiente al año base, y se muestra en la figura (2-5).

2.2.5.3 Diagrama de Carga Eléctrico mediante Método 2

Teniendo como base los datos recogidos en una encuesta energética realizada en la localidad, se ha hipotizado los consumos eléctricos de los sectores residencial y comercial para el año base. Para este objetivo se han utilizado las siguientes informaciones :

- Número de posibles usos : hallado a partir de las informaciones relativas a las preferencias deducidas por la encuesta.
- Consumo medio: hipotizado con datos estadísticos .

- Ingreso medio por clases sociales
- Potencias eléctricas de los diferentes aparatos electrodomésticos.

En el cuadro (2-11) se muestran algunas de estas informaciones

Referente al sector industrial en Puerto Inca, tal como se observa dentro las actividades económicas, está representado por embotelladora de bebidas gaseosas, aserraderos, mercado alimenticio y frigorífico para conservación de pescado.

La mayoría de estos autoproducen la energía eléctrica requerida mediante pequeños grupos convencionales diesel y/o gasolineros, caracterizados por sus pésimas condiciones de funcionamiento sumados a los altos costos del combustible y repuestos en el sitio.

Además de los sectores ya identificados se tiene el servicio público en donde se considera el alumbrado público y el dispensario médico.

En el cuadro (2-12) se muestran los consumos medios de energía eléctrica requeridos por los sectores arriba mencionados correspondientes al año base.

En el cuadro (2-13) se muestra la distribución diaria media del consumo de electricidad para el año base de donde se obtiene el diagrama de carga mostrado en la figura (2-6).

2.2.5.4 Diagrama de carga Final para el año base

Este diagrama resulta de la comparación entre los encontrados por los dos métodos correspondientes al año base, en donde, para la elección de las cargas horarias se ha adoptado los siguientes criterios:

- Para valores máximos ha sido elegido el más alto de entre los dos análisis.
- Para algunas potencias horarias en las proximidades de los picos ha sido elegido el valor más conservador .
- Para las demás potencias horarias ha sido elegido el valor medio entre los dos análisis

Consecuentemente se obtiene el diagrama de carga mostrado en la figura (2-7) de donde se determina que, el consumo neto de energía eléctrica para el año base es de 1,272 KWh diarios y la máxima potencia de consumo de 91 KW.

Sí se considera que el 6% de esta energía corresponde al autoconsumo de la central y las pérdidas en distribución, entonces la capacidad de generación de la central será:

- Energía a generar : $EAG = 1.06 \text{ Consumo Neto}$
- Potencia Media de Suministro: $P_m = EAG / 24$
- Potencia Máxima de Suministro: $PM = 1.06 \text{ Pot. Máxima de consumo.}$
- Factor de Carga promedio : $f.c = P_m / PM$

Para el año base se tiene:

$$EAG = 1,348 \text{ KWh/día}$$

$$P_m = 56.2 \text{ KW}$$

$$- 97.0 \text{ KW}$$

$$f.c = 0.58$$

2.2.5.5 Proyección del Diagrama de Carga a fines del Proyecto

La proyección del diagrama de carga de planta a fines del proyecto se obtiene de las características del diagrama de carga final para el año base ;además considerando que la producción media per cápita sube a 0.8 KWh /hab. y el índice de incremento poblacional se estima en un valor medio anual de 2.5 % . Este diagrama se muestra en la figura (2-8).

- Población año 2,012 : 2,654 hab.
- Consumo neto de energía eléctrica año 2,012 :
2,123 KWh /día

Las características de generación para fines del proyecto seran :

$$EAG = 2,250 \text{ KWh /día}$$

$$P_m = 94.0 \text{ KW}$$

$$P_M = 161.1 \text{ KW}$$

$$f.c = 0.582$$

Con estos valores se toma como referencia para el dimensionamiento de la planta, lo cual se realiza en los capítulos 7 y 8 .

CUADRO (2-1)

Distribución de las Microregiones

LORETO

<u>Microregión</u>	<u>Sede</u>	<u>Distritos</u>	<u>Capitales</u>
I. Amazonas/ Iquitos	Iquitos	1. Maynas 2. Alto Nanay 3. Fernando Lores 4. Indiana 5. Pebas	Iquitos Sta. María del Nanay Tamashiyacu Indiana Pebas
II. Huallaga/ Yurimaguas	Yurimaguas	6. Yurimaguas 7. Santa Cruz 8. Lagunas 9. Balaspuerto 10. Jeberos 11. Tte. César Lopes	Yurimaguas Santa Cruz Lagunas Balaspuerto Jeberos Shuchshuyacu
III. Ucayali / Contamana	Contamana	12. Contamana 13. Padre Márquez 14. Pampa Hermosa 15. Inahuaya 16. Vargas Guerra 17. Sarayacu	Contamana Tiruntan Pampa Hermosa Inahuaya Orellana Dos de Mayo
IV. Ucayali / Requena	Requena	18. Requena 19. Sapuena 20. Puinahua 21. Capelo 22. Tapiche 23. Emilio San Martín 24. Maquía 25. Alto Tapiche 26. Soplin	Requena Bagazán Bretaña Flor de Punga Iberia Tamanacu Sta. Isabel Santa Elena Nueva Alejandra
V. Tigre/ Nauta	Nauta	27. Parinari 28. Nauta 29. Urarinas 30. Tigre	Parinari Nauta Concordia Intuto
VI. Yavarí/ Caballococha	Caballo- Cocha	31. Ramón Castilla 32. Yavarí 33. Yaquerana	Caballococha Amelia Bolognesi
VII. Putumayo / El Estrecho	El Es- trecho	43. Putumayo	El Estrecho
VIII. Marañón/ San Lorenzo	San Lo- renzo	34. Barranca 35. Cahuapanas 36. Morona 37. Manseriche 38. Pastaza	Barranca Pto. América Borja Andoas
IX. Napo/ Sta. Clotilde	Santa Clotilde	39. Napo 40. Mazán 41. Las Amazonas 42. Torres Cansana	Sta. Clotilde Mazán Fco. de Orellana Pantoja

CUADRO (2-1) cont.

UCAYALI - SELVA BAJA CENTRAL

<u>microregión</u>	<u>Sede</u>	<u>Distritos</u>	<u>Capitales</u>
X. Ucayali/ Pucallpa	Pucallpa	44. Callería 45. Masisea 46. Yarinacocha 47. Campo Verde 48. Iparía	Pucallpa Masisea Pto. Callao Campo Verde Iparía
XI. Tambo / Atalaya	Atalaya	49. Raymondi 50. Tahuania 51. Yurua 52. Sepahua	Atalaya Bolognesi Breu Sepahua
XII. Pacitea/ Pichis-Pal- cazu	Pto. Inca	53. Irázola 54. Honoria 55. Pto. Inca 56. Pto. Bermúdez	San Alejandro Honoria Pto. Inca Pto. Bermúdez
XIII. Esperanza	Esperanza	57. Purus	Esperanza

MADRE DIOS

XIV. Tambopata	Pto. Mal- donado	58. Tambopata 59. Las Piedras	Pto. Maldonado Las Piedras (parte)
XV. Tahuamanú	Iberia	60. Iñapari 61. Iberia 62. Tahuamanú	Iñapari Iberia San Lorenzo
XVI. Inambari/ Colorado	Mazuko	63. Madre de Dios 64. Manú 65. Inambari	Madre de Dios (parte) Manú (parte) Inambari
XVII. Alto Madre de Dios/Manú	Salvación	64. Manú 63. Madre de Dios 58. Tambopata 66. Fitzcarrald	Manú Madre de Dios (parte) Pto. Maldonado Fitzcarrald

CUADRO (2-2)

Consumo Medio de Energía Final Percápita del Sector Residencial (Mcal/a)

USO FUENTE FINAL	LOCALIDAD		
	Iberia/Iparia	Requena	Pucallpa/ Iquitos
COCINA	3,076.0	5,081.6	3,581.6
Combustibles Sólidos	2,097.0	2,507.0	1,600.0
Kerosene	979.0	2,567.0	1,971.0
Energía Eléctrica	-	7.6	10.6
ILUMINACION	165.0	349.2	294.0
Combustibles Sólidos	-	-	-
Kerosene	20.0	244.0	184.0
Energía Eléctrica	108.0	105.2	110.0
APARATOS DOMESTICOS	155.0	143.2	206.0
Combustibles Sólidos	3.0	3.0	26.0
Kerosene	140.0	130.0	150.0
Energía Eléctrica	12.0	10.2	30.0

Fuente: Referencia (7)

CUADRO (2-3)

Valor de los Coeficientes de las ecuaciones de la demanda de energía útil, por uso final

USO FINAL	Constante	Variable Depend. (10^{-3})		F	R ²
		Ingreso familiar	Precio energético		
Cocina	5,700.0	0.01	-0.85	21.4	20.5
Iluminación	70.8	0.04	-0.02	15.6	8.2
Aparatos domésticos	916.9	12.9	-0.085	32.5	65.2

Fuente : Referencia (7)

CUADRO (2-4)

VALOR DE LOS COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES DE SUBSTITUCION INTERFUENTES SEGUN LAS "CUOTAS DE PARTICIPACION" (1)

Fuentes por usos finales	Constante	Variables dependientes (10-3)				Valores estadísticos		
		Ingreso familiar	Precio combustibles sólidos	Precio kerosén	Precio energía eléctrica	F	R ²	
Cocina								
Combustibles sólidos (2)	577	-0,78	-4,49	3,20	0,00 (5)	13,3	64,3	
Kerosén	398	0,19	4,49	-4,04	2,67	13,4	54,6	
Energía eléctrica	24	0,59	-0,00 (5)	0,84	-2,67	3,3	40,3	
Iluminación								
Combustibles sólidos	52	-0,05	-1,99	2,12	0,34	8,1	10,6	
Kerosén	549	-0,70	1,99	-2,82	0,79	19,1	16,4	
Energía eléctrica (4)	384	0,75	0,00 (5)	0,70	-1,13	20,2	17,1	
Aparatos domésticos								
Combustibles sólidos	45	-0,06	-0,83	-0,00 (5)	-0,00 (5)	3,2	30,2	
Kerosén	291	-0,43	0,00 (5)	-3,34	4,09	12,5	32,1	
Energía eléctrica (3)	663	0,49	0,83	3,34	-4,09	22,1	70,8	

(1) Las "cuotas de participación" se encuentran multiplicados por 1,000.

(2) Los valores de los combustibles sólidos se hallan constituidos por una media pesada de los consumos de leña y carbón vegetal.

(3) Incluye consumo de pilas.

(4) Si bien en Iberia e Iparia han sido detectados consumos para iluminación con combustibles sólidos, como cuota de la luz generada en el proceso de cocina, transitoriamente y hasta que sea confirmada su significatividad por parte peruana en los usos y costumbres de la región, ha sido desconectada la ec. correspondiente.

(5) 106.

Localidad	Población 1985	Tasa	Año previsto para la nueva central	Central eléctrica	Observaciones
IOQUITOS	193,690	4.1	1988	no cubre demanda actual	Planta térmica con varias unidades paralizadas. Se ha previsto que a partir de 1987 el déficit de energía sera cada vez más creciente. Electroperu realiza estudios de ampliación.
FUCALLPA	97,239	4.1	1988	Deficiente	Planta térmica que no es rentable por el costo del petróleo. Actualmente funciona en forma irregular. No cubre la demanda. Electroperu realiza estudios de ampliación.
TURIMAGUAS	24,773	4.1	1990	Deficiente	Planta térmica que no cubre la demanda actual y esta considerada dentro del plan de electrificación de CORDELORETO.
DOS DE MAYO	582	1.0	1990	no cubre demanda	Planta térmica instalada en 1963 requiere renovación. (ELECTROPERU).
MAZUCO	497	1.3	1989	no cubre demanda	Corporación de Madre de Nios interesado en electrificar Mazuco.
AGUATTIA	2,209	4.1	1990	no cubre demanda	Corporación de Ucayali (CORDEU) y ELECTROPERU interesados en electrificar estas 3 localidades.
CAMPO VERDE	649	1.0	1990	no cubre demanda	
ATALAYA	2,245	4.1	1990	no cubre demanda	
MAUTA	6,000	4.1	1990	no cubre demanda	Planta térmica que no cubre la demanda actual.
PAMPA HERMOSA	573	1.0	1995	central eléctrica paralizada	La central eléctrica no funciona actualmente requiere renovación. (ELECTROPERU).
PUERTO MALDONADO	12,505	3.5	1995	Funciona regularmente	Se estima que a medio plazo se realizará una ampliación y sustitución de los grupos térmicos (ELECTROPERU).
CONTAMANA	4,400	4.1	1995	Funciona regularmente	
ORFILLANA	3,154	4.1	1995	Central instalada en 1972	
LABERINTO	1,519	3.5	1995	Deficiente	Se estima a mediano plazo remodelación o ampliación de estas centrales por parte de ELECTROPERU.
PUERTO CALLAO	6,479	4.1		Funcionamiento regular	
MAHUZO	383	1.0		Instalado en 1972	
TIERRA BLANCA	829	1.0		Funcionamiento regular	
PUERTO INCA	1,400	2.2	1996	Funcionamiento regular	
REQUENA	8,860	4.1	1998	Funcionamiento regular	Están considerados dentro de un plan de remodelación y ampliación del servicio eléctrico por parte de la corporación de Loreto (CORDELORETO).
LAGUNAS	5,124	4.1		.	
GENARO HERRERA	2,302	4.1		.	
PEBAS	1,976	4.1		.	
TAMANCO	1,494	4.1		.	
FLOR DE PUNCA	1,359	4.1		.	
YURACTACU	399	1.1		.	
SAN PABLO II ZONA	294	1.1		.	
SAN ROQUE	932	1.1		.	
IRERIA	3,966	3.0		1996	
TAMSHITACU	2,225	4.1	2000	No tiene central eléctrica	Se estima que ELECTROPERU instalará una central a largo plazo.
MASISEA	1,709	4.1	2000	No tiene central eléctrica	
INDIANA	1,956	4.1	1994	No tienen central eléctrica	Están considerado de electrificación por CORDELORETO.
JEBEROS	1,690	4.1			
MUNICHIS	685	1.1			
SAN LORENZO	863	1.1			
PANGUANA	234	1.1			
AUCATO	124	1.1			
ARAHUANTE	792	1.1			
PRETANA	748	1.1			
QUISTOCOCHA	721	1.1			

Localidad	Población 1985	Tasa	Año previsto para la nueva central	Central eléctrica	Observaciones
SANTA CLOTILDE	718	1.1	1998	No tienen central eléctrica	Están considerados de un plan de electrificación por parte de CORDELOR.
TIMICIRO	686	1.1			
SAN JUAN	686	1.1			
CASTILLA	618	1.1			
GRAU (1)	555	1.1			
GRAU (2)	552	1.1			
INTUTU	543	1.1			
SAN REGUIS	521	1.1			
PURATO ALEGRIA	518	1.1			
SANTA ANA	517	1.1			
CONCORDIA	512	1.1			
PROVIDENCIA	551	1.1			
SANTA CRUZ	447	1.1			
SAMITO	443	1.1			
PUCA BARRANCA	403	1.1			
TUCURUCHI	402	1.1			
HIPOLITO UNANUE	430	1.1			
SAN JUAQUIN DE OMAGUA	412	1.1			
SANTA MARIA	406	1.1	1998	No tienen central eléctrica	Están considerados dentro del plan de electrificación de CORDELOR
MIRAFLORES	399	1.1			
PARINARI	389	1.1			
EL ESTRECHO	358	1.1			
MAYPUCO	340	1.1			
IBERIA (LORETO)	318	1.1			
IPARIA	316	1.0			
SHUNCUSHUTACU	748	1.1	2000	No tienen central eléctrica	Están considerados dentro de un plan de electrificación a largo plazo por parte de ELECTROPERU.
BACAZAN	578	1.1			
SANTA ROSA	427	1.0			
FRANCISCO DE ORELLANA	413	1.1			
SANTA ELENA	380	1.1			
CABO PANTOJA	377	1.1			
LUPUNA	881	1.1	2005	No tienen central eléctrica	No están consideradas por el momento en ningún plan de electrificación.
HUATPETUE	810	1.3			
TIRUTAN	738	1.0			
SARAHURO	580	1.1			
TIQUINA	563	1.0			
SEPAHUA	552	1.0			
ROBOAYA	549	1.0			
MARISCAL CASTILLA	488	1.0			
CACO	437	1.0			
EXITO	433	1.0			
NUOVO EDEN	428	1.0			
TNAHUATA	419	1.0			
PUERTO PRADO	510	1.0	2005	No tienen central eléctrica	No están consideradas por el momento en ningún plan de electrificación.
AMAZONAS	381	1.0			
SANTA CRUZ	488	1.0			
CHANCAY	399	1.0			
CAYCHITUE	401	1.3			
MONTE BELLO	392	1.0			
SAMANGO	376	1.1			
SANTA TERESA	370	1.1			
SINTICO	366	1.1			
BELLO HORIZONTE	352	1.0			
VISTA ALEGRE	353	1.1			
REVISTO	351	1.0			
SAN JUAN CUMACEVA	346	1.1			
ISLANDIA	342	1.1			
RAITA	338	1.0			
ORAM	336	1.1			
CHIMBOTE	335	1.1			
PAIROTE	333	1.1			
SARAMIRISA	331	1.1			
NUOVA VIDA	326	1.1			
CAHUAPANAS	319	1.1			
PADRE ISLA					
II ZONA	319	1.1			

CUADRO (2-7)

Superficie Cultivada y Producción Anual
1981

PRODUCTO AGRICOLA	SUPERFICIE CULTIVADA (Ha)	PRODUCCION ANUAL (ton/a)
Arroz	200	240
Plátano	170	1,360
Maíz	100	180
Frejol	4	5

Fuente : Ministerio de Agricultura

CUADRO (2-9)

Distribución Media de la Demanda Eléctrica
por usos, del lugar referencial

Tipo de Uso	Nº Usuarios	KWh/día		
Residencial	635	59.4	4,162	39.5
Comercial	366	34.2	4,135	39.2
Industrial	1	0.1	80	0.7
Otros	67	6.3	2,173	20.6
TOTAL	1,069	100.0	10,550	100.0

Fuente : MEM- CONERG

CUADRO (2-10)

Factores de Distribución Horaria

Hora del Día	Factor de Distrib.
01	0.03554
02	0.03087
03	0.02844
04	0.02844
05	0.02844
06	0.02844
07	0.03317
08	0.03317
09	0.03081
10	0.03081
11	0.03081
12	0.03317
13	0.03317
14	0.03081
15	0.03081
16	0.03081
17	0.03554
18	0.05924
19	0.08057
20	0.08057
21	0.08057
22	0.06872
23	0.05213
24	0.04502

CUADRO (2-11)

Distribución del Consumo eléctrico por
tipo de aparato eléctrico

Tipo de Aparato eléctrico	Potencia media KW	Consumo medio (KWh/día)	Posibles usuarios
Iluminación	0.2* - 0.3*	120	91* - 25**
Ventiladores	0.1	32	25* - 15**
Plancha	1.2	45	31 - 20
TV, radio			
Electrodomésticos	0.2	73	30 - 20
Frigorífico	0.25	120	36* - 25**
Cocina eléctrica	1.5	145	10 - 20

(*) sector residencial

(**) sector comercial

CUADRO (2-12)

Consumo Eléctrico posible del sector Industrial
y Servicio Público para el año base

Consumidor	Potencia media KW	Consumo medio KWh/día
Embotelladora	2	20
Aserradero 1	16	129
Aserradero 2	11	81
Mercado alimenticio	3-5	96
Frigorífico para pescado	11	264
Alumbrado público	15	180
Dispensario médico	2	4

CUADRO (2-13)

Distribución del consumo eléctrico diario medio - año base -

Tipo de aparato eléctrico	KWh/día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		Horas del día																							
Iluminación	120																			10	15	20	20	20	15
Cocina eléctrica	145					5	20	10				30	20	10											
TV, radio, electro domésticos	73					5	1	1	1	1	1	1	5	4	1	1	1	5	5	8	8	8	8	5	5
Ventiladores	32							1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1		
Plancha	45							5	5	5	5					5	5	5	5						
Frigorífico	120	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Embotelladora	18								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2							
Aserradero 1	129							14	25	14	14	17	17	17	17	14	14	14							
Aserradero 2	81							10	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10							
Mercado alim.	96	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Frigorífico para pescado	264	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Dispensario médico	4																								
Alumbrado público	180	15	15	15	15	15													15	15	15	15	15	15	15
Consumo Total	1,307	35	35	35	35	25	45	65	65	53	85	48	66	55	55	55	45	83	91	74	64	63	55	40	

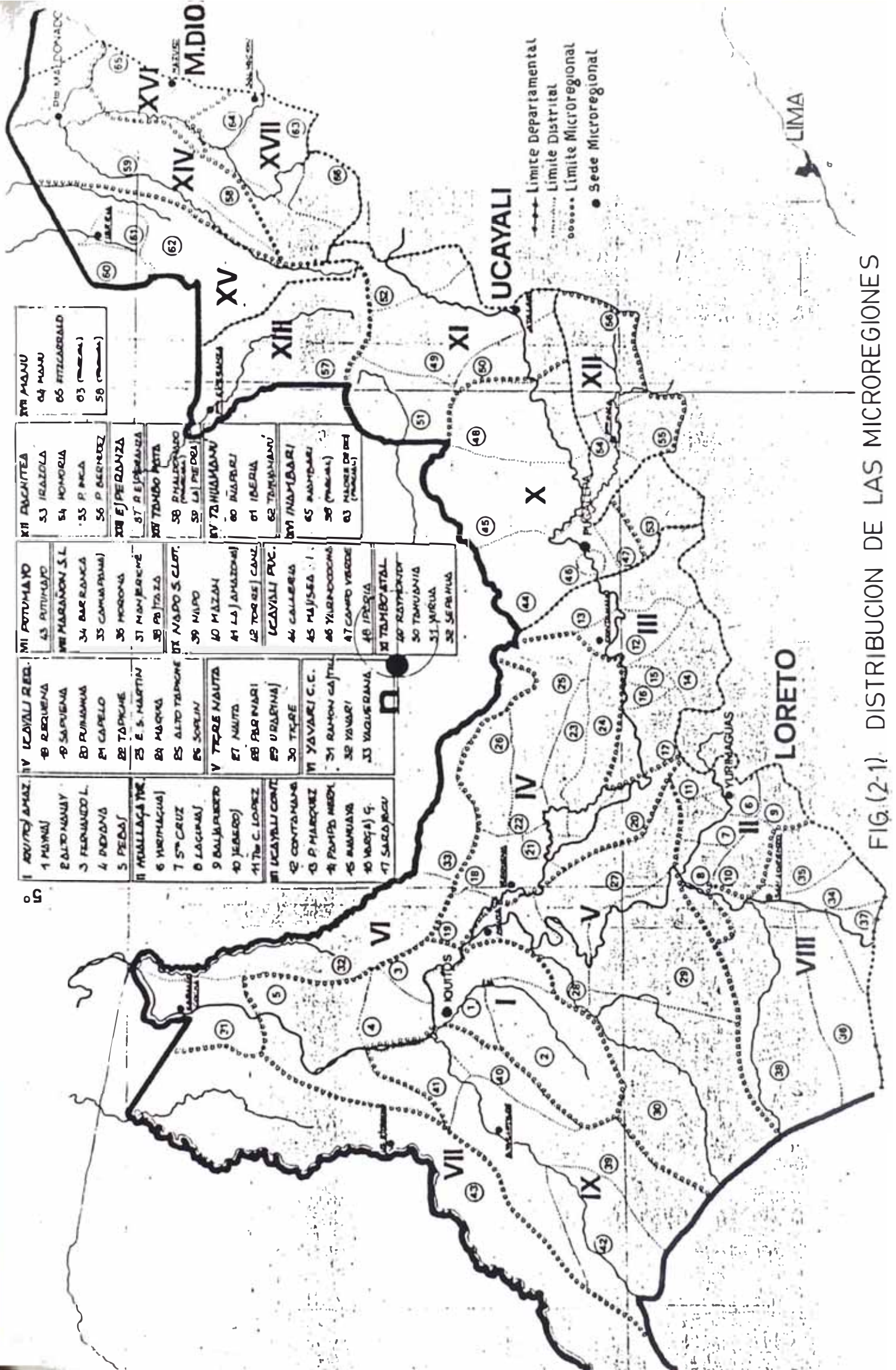


FIG.(2-1) DISTRIBUCION DE LAS MICROREGIONES

FIG(2-2) PUERTO INCA
DIAGRAMA DE CARGA REAL
1983

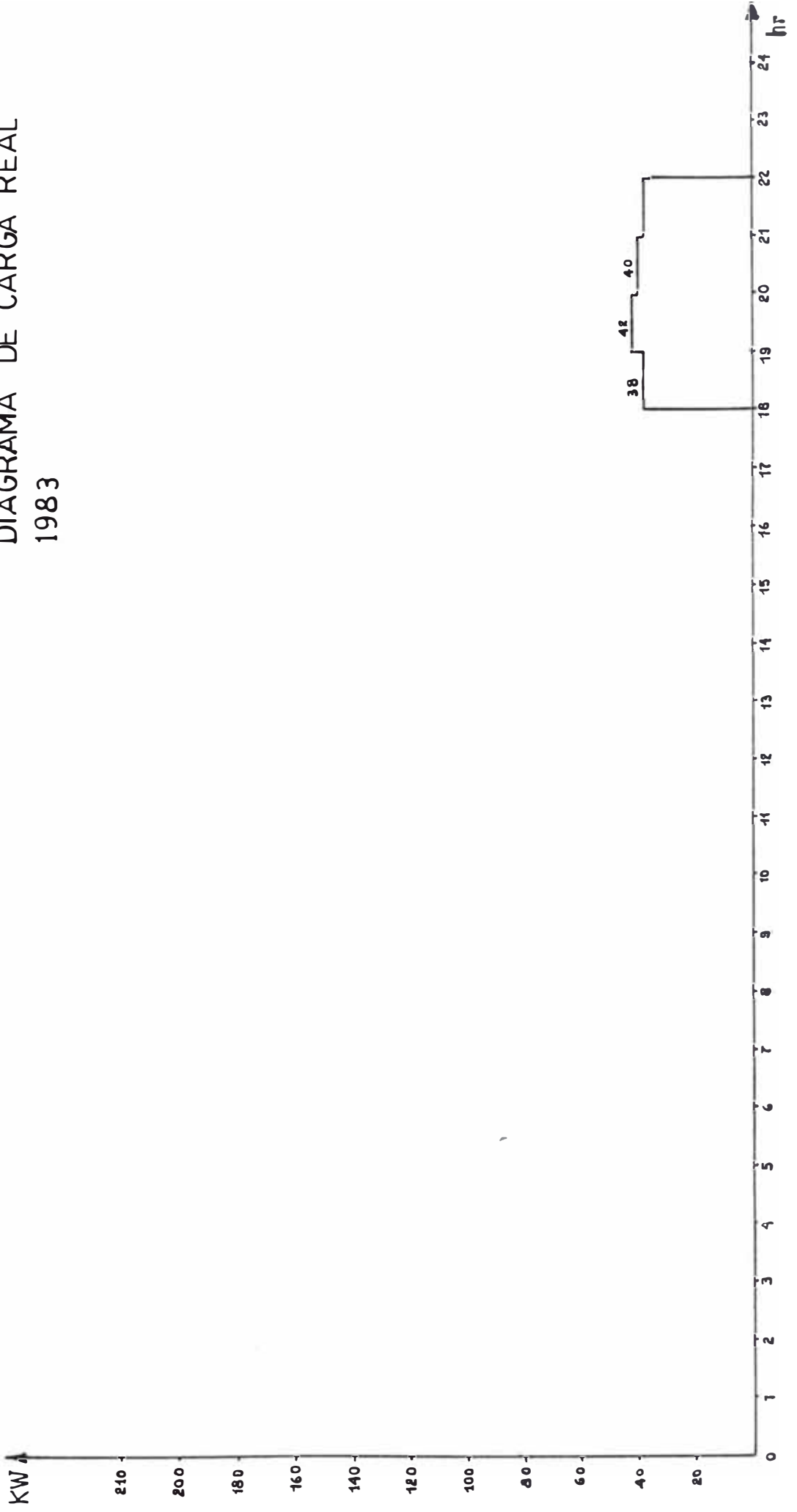


FIG. (2-3) PUERTO MALDONADO
DIAGRAMA DE CARGA
1983

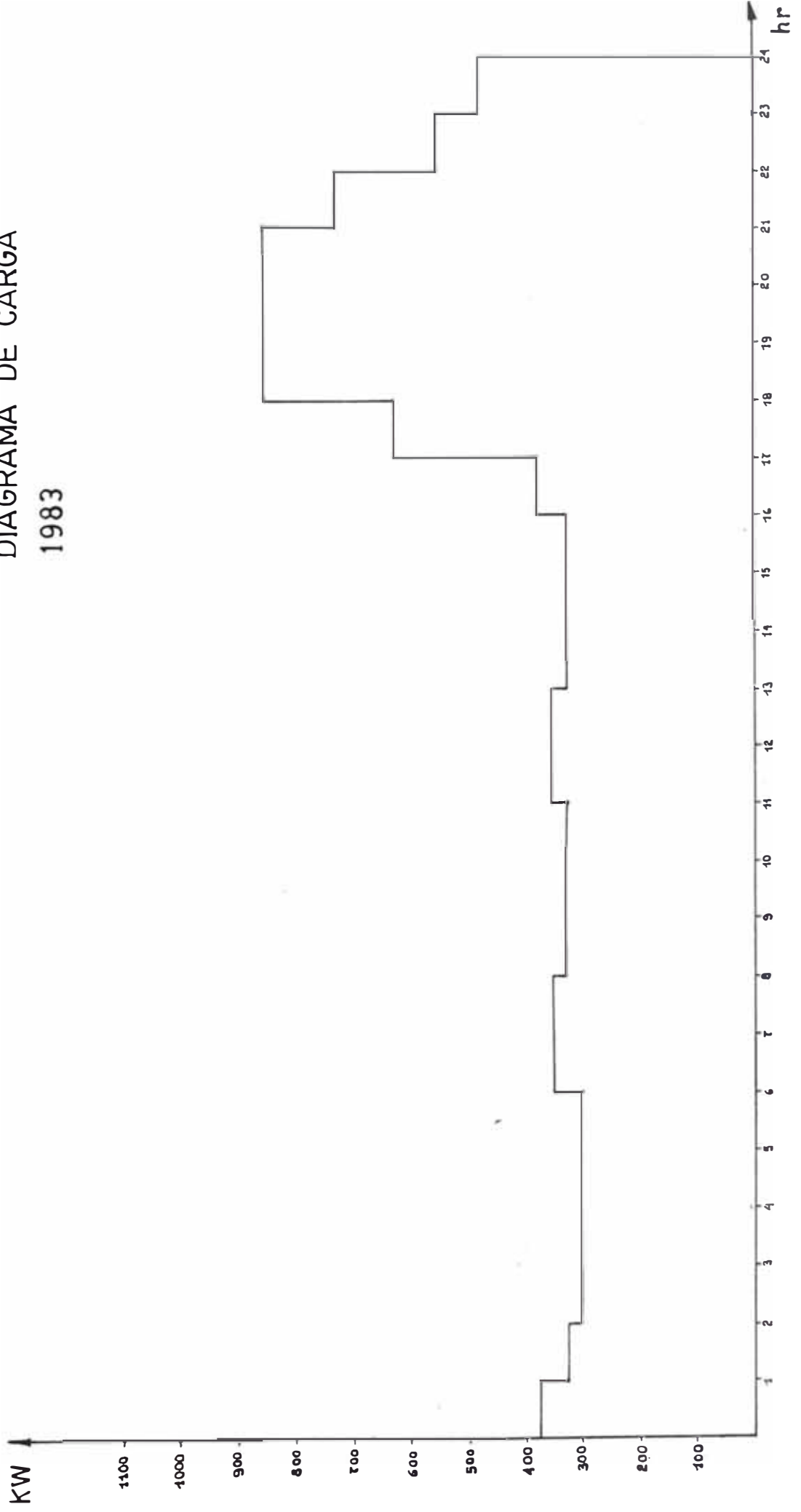


FIG. (2-4) PUERTO INCA
DIAGRAMA DE CARGA TIPICO
1983

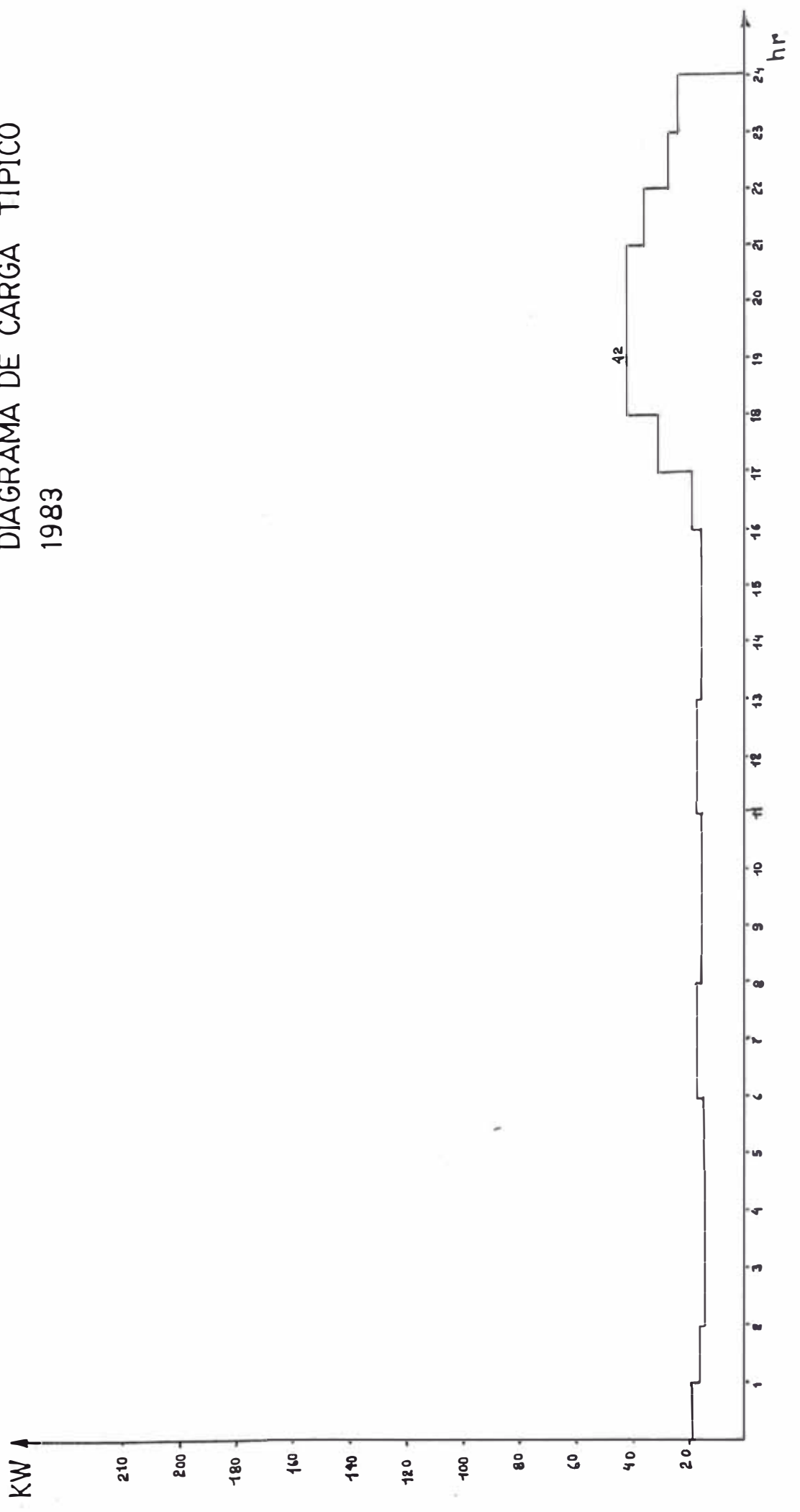


FIG.(2-5) PUERTO INCA
DIAGRAMA DE CARGA AÑO BASE
METODO 1

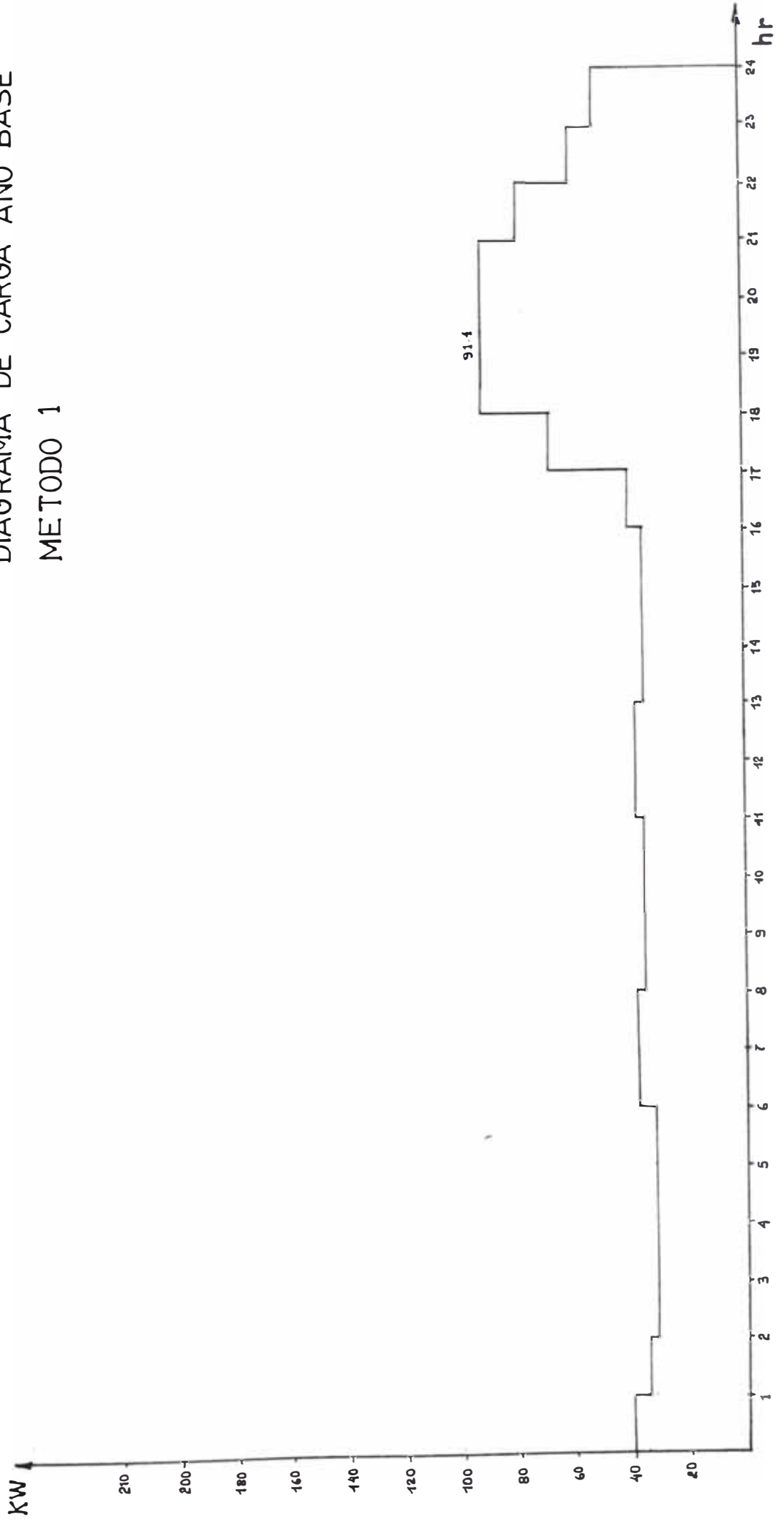


FIG (2-6) PUERTO INCA
DIAGRAMA DE CARGA ANO BASE
METODO 2

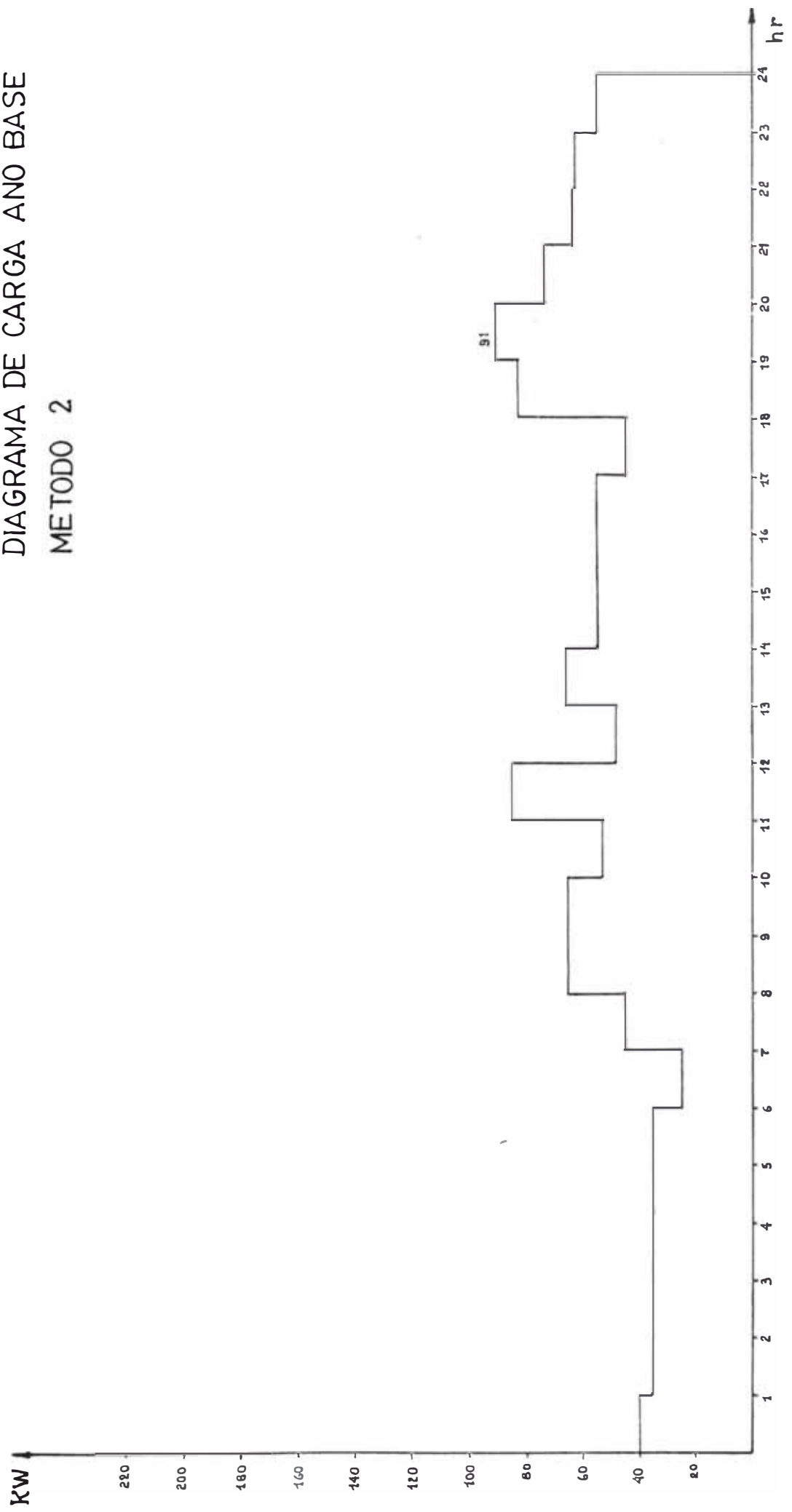


FIG (2-7) PUERTO INCA
DIAGRAMA DE CARGA FINAL
AÑO BASE

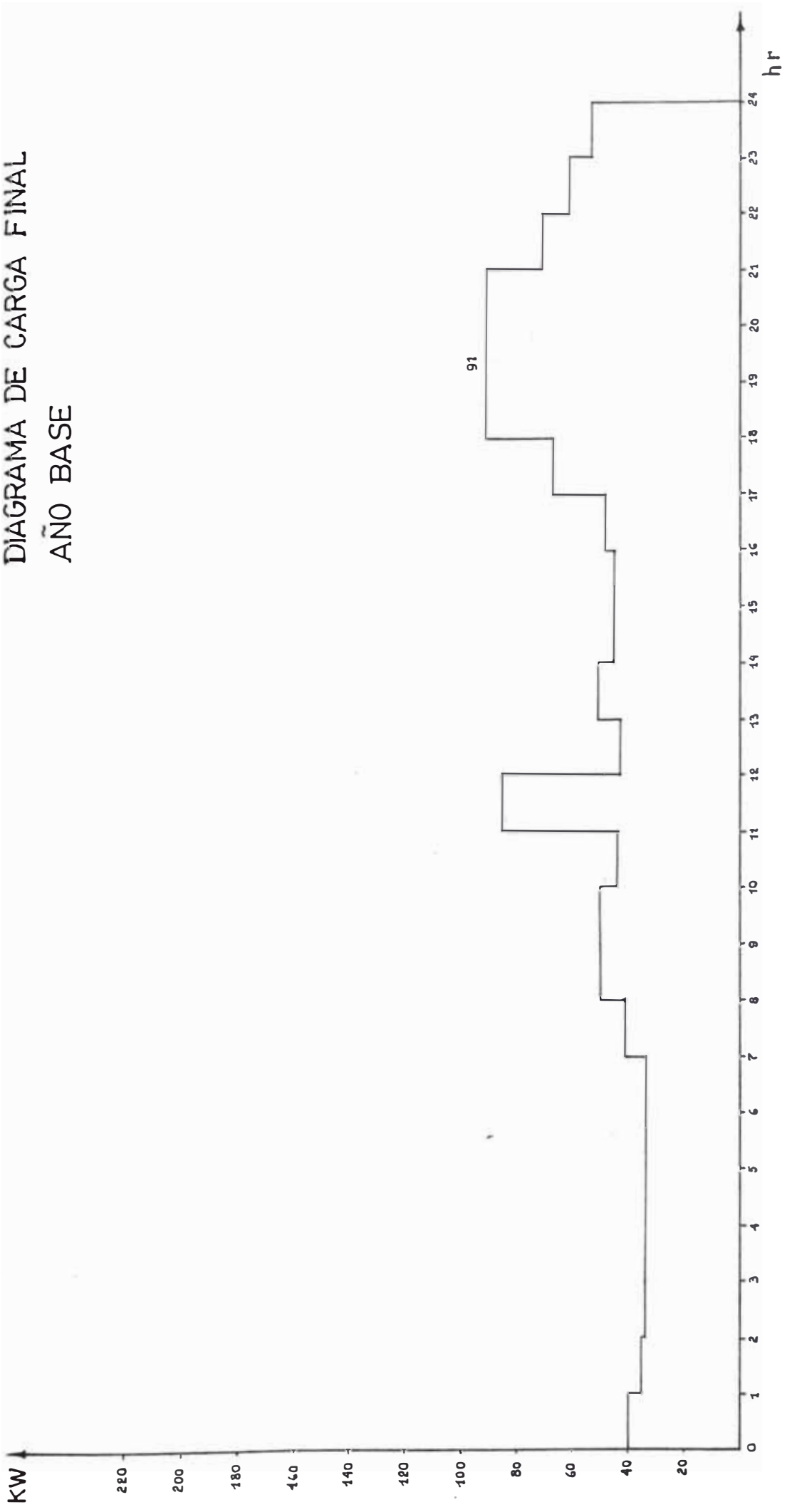
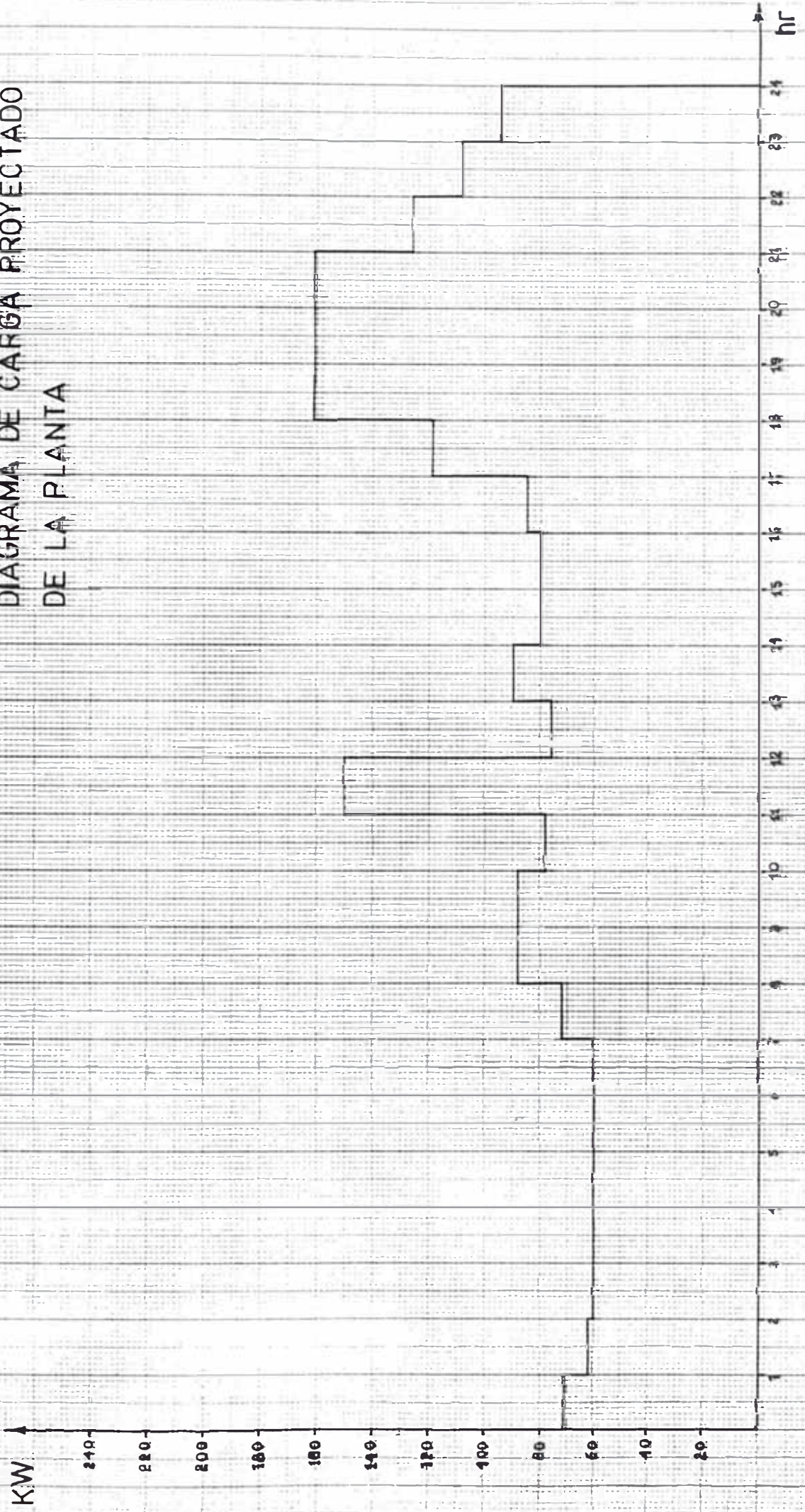


FIG (2-8) PUERTO INCA
 DIAGRAMA DE CARGA PROYECTADO
 DE LA PLANTA



C A P I T U L O 3

FUENTES ENERGETICAS ALTERNATIVAS EN LA SELVA BAJA

3.1 Generalidades

Fuentes energéticas alternativas son aquellas fuentes no convencionales renovables que pueden sustituir parcial o totalmente a las fuentes energéticas convencionales como son los combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón mineral), para la generación de energía final.

La Selva Baja peruana se caracteriza por su gran diversificación energética; sin embargo no todas las fuentes existentes pueden ser aprovechables al mismo nivel, para soluciones energéticas de sus pueblos que lo conforman (en particular los cientos de pequeñas localidades aisladas).

En el presente estudio se trata precisamente de disertar la evaluación de las fuentes energéticas de esta región, del punto de vista técnico, económico y estratégico para luego elegir la fuente más conveniente de explotar dentro la generación de potencia en pequeña escala.

3.2 Fuentes convencionales :Combustibles Fósiles

Entre los combustibles fósiles existentes en esta re -

gión se encuentran el Petróleo y el Gas Natural .

3.2.1 Petróleo

La estimación del potencial disponible en la selva es de 9 mil millones de barriles y de 550 millones de barriles como reservas probadas . La producción de petróleo de la región Selva Baja (Loreto-Ucayali) representa en promedio el 60 % del total producido en el país (1,977 - 1984). La distribución de los yacimientos petrolíferos en esta región prácticamente se encuentran puntualizados en la parte norte (Loreto y Ucayali) cuya producción está orientada al consumo interno y parte a la exportación,

Si bien las reservas probables y probadas de petróleo es alto en la selva Baja, la venta a través de las plantas de distribución (en Loreto 2 y en Ucayali 1) no se realiza adecuadamente a todos sus centros poblados; esto debido a la geografía y principalmente a la falta de infraestructura en los medios de transporte . En la gran mayoría de estos pueblos, como consecuencia de las dificultades en la distribución surgen la escasez y los altos costos del combustible y derivados originados por concepto de flete, que de acuerdo al tipo de transporte y lugar, los precios superan generalmente el 200% del valor autorizado.

Frente a esta situación, la generación de energía eléctrica mediante grupos convencionales dependientes del petróleo en lugares poblados de la Selva Baja no ofrecen factibilidad técnica ni económica . Enfoque más detallado se realiza en el capítulo 6.

3.2.2 Gas Natural

En el Perú los yacimientos de Gas Natural se encuentran ubicados en la Selva . A la actualidad el potencial estimado se distribuye principalmente en las cercanías del río Camisea al norte del Cusco y asciende a un valor de 10.8×10^{12} pies cúbicos ;mientras que en el departamento de Ucayali, en Aguaytía se estima una reserva de 0.5×10^{12} pies cúbicos.

Debido a los bajos niveles socio-económicos de las zonas donde se ubican estos yacimientos y la falta de estructuras industriales sólidas cercanas, cabe la factibilidad de aprovecharlos como combustible para la generación de potencia a gran escala y formando parte del sistema interconectado nacional . Entre las características de esta forma de aprovechamiento del gas natural tales como las altas inversiones , periodos largos de implementación y la orientación a satisfacer grandes demandas eléctricas (tendientes a la costa y sierra), llevan a deducir que, de esta manera no se adecúa a una solución técnico-económico respecto a la electrificación de los diversos pueblos aislados y dispersos de nuestra Selva Baja .

3.3 Fuentes Alternativas :Energías No Convencionales

Entre las fuentes alternas con características renovables que se pueden utilizar para fines energéticos en esta región se tienen:

- Energía Eólica
- Energía Solar
- Energía Hidráulica :pequeña escala
- Energía Geotérmica

- Energía Biomásica Forestal

Cada una de estas energías se analizan desde el punto de vista de la existencia del recurso en la región y su posible utilización de acuerdo a la tecnología existente, orientada a la generación de energía mecánica/eléctrica y usos adicionales .

3.3.1 Energía Eólica

La energía cinética del viento puede ser convertida en energía mecánica útil mediante diversos tipos de turbinas eólicas. Esta energía mecánica puede ser utilizada en forma directa para bombeo de agua, molinos, ó para accionar un generador eléctrico.

3.3.1.1 Características del Recurso Eólico en la Selva

Baja

Según el mapa eólico regional (Atlas Eólico Preliminar de América y del Caribe) publicado por la Organización Latinoamericana de Energía -OLADE- se han evaluado las velocidades promedio del viento en diferentes zonas de la Selva peruana durante un año (1,976). Los resultados se muestran en el cuadro (3-1).

De acuerdo a los datos obtenidos en el cuadro (3-1) se observa que las velocidades medias anuales están en el orden de 0.6 a 1.6 m/s; excepto en Puerto Maldonado que alcanza a 2.7 m/s

Con esta información aún limitada en cuanto al análisis de frecuencia de vientos, y también contando con datos tomados por Electroperú en diferentes estaciones (correspondientes al plan de elaboración del mapa eólico del Perú y que en la

actualidad están en procesamiento); estos niveles de velocidad son relativamente bajos para ser aprovechados en la generación de energía eléctrica mediante aerogeneradores.

Para estos casos se requieren velocidades no menores de 3-4 m/s

Sí se compara los valores de velocidades medias de viento existentes en la selva con las curvas que relacionan la potencia anual específica por unidad de superficie de aerogeneradores para diversas velocidades medias anuales dados en la figura (3-1), se observa que cualquiera que sea la potencia de diseño del aerogenerador (Watts/m^2 , dato del fabricante), las potencias producidas en un año serán menores a $50 \text{ KW/m}^2 \cdot \text{año}$, valor insuficiente para asegurar un programa de electrificación aislado en la Selva Baja, debido a los altos costos que se derivarían del sobredimensionamiento, del número de aerogeneradores (sistema de aerogeneración) y la infraestructura civil.

3.3.1.2 Usos Adicionales de la Energía Eólica

Como se ha visto anteriormente, si bien el nivel de velocidad del viento en la Selva no es apropiada como para solucionar la demanda eléctrica de una pequeña localidad, pues su aplicación puede derivarse al sistema de bombeo de agua para suministro en los diferentes usos tales como la irrigación en pequeña escala, uso doméstico y el suministro de agua para animales. Para esta aplicación se requiere de velocidades del viento moderadas y el medio de transformación se realiza a través de un molino de viento (turbina eólica) el cual acciona una bomba reciprocante (volumétrica).

En casi todos los pequeños centros poblados de la Selva, el agua necesaria se abastece de los ríos y se transporta mediante hombres o animales; con este tipo de "Bombas de Viento", se puede establecer uno o más puntos de almacenamiento del agua para luego ser distribuidos a las diferentes exigencias de cada comunidad.

En el Perú se tiene amplia experiencia en el diseño y construcción de molinos de viento de diferentes tipos

3.3.2 Energía Solar

La energía solar es la fuente de luz y vida del planeta y es a la vez la madre de casi todas las fuentes energéticas naturales existentes en la tierra. En la figura (3-2) se muestra las formas de conversión de la energía solar.

3.3.2.1 Evaluación de la Radiación Solar

La evaluación solar en la Selva Baja se ha realizado en base a informaciones dadas por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación), el SENAMHI y Electroperú.

La FAO ha realizado mediciones en 5 estaciones ubicadas en Iquitos, Pucallpa, Puerto Maldonado, Tarapoto y San Ramón. Estas mediciones se basan en el brillo solar; la metodología utilizada para la evaluación del nivel de radiación solar es bastante confiable (error de $\pm 1.0\%$) y los resultados se muestran en los cuadros (3-2) al (3-6).

De estos cuadros se puede notar que la radiación solar es bastante similar para los cinco lugares evaluados. El valor

de la radiación total varía entre un mínimo de $5.872 \text{ GJ/m}^2/\text{año}$ para Tarapoto y un máximo de $6.177 \text{ GJ/m}^2/\text{año}$ para Puerto Maldonado . La radiación difusa varía entre un 44 a 46 % de la radiación total.

3.3.2.2 Generación de Energía Eléctrica

La generación de potencia con el uso de la energía solar se realiza mediante dos formas de conversión :

- Conversión Térmica ó Fototérmica
- Conversión Fotovoltaica

- Conversión Fototérmica

A la actualidad se realiza mediante sistemas de colectores de concentración de la radiación solar directa . Las formas geométricas de los colectores pueden ser cilindro-parabólicos (concentración linial), parabolóidicos (concentración puntual) y heliostatos que son espejos planos que, distribuidos y orientados adecuadamente, concentran la radiación directa en un punto denominado receptor central.

La energía térmica concentrada transfiere el calor a un fluido caloportador el cual se encuentra en un circuito primario ;éste transfiere su calor almacenado a un circuito secundario en donde otro fluido de trabajo con características térmicas particulares (p.e. baja temperatura de ebullición) se vaporiza y al expandirse en un motor primo, genera potencia mecánica que es aprovechada para mover un generador eléctrico.

Actualmente existen importantes programas de investigación, desarrollo y aplicación de esta tecnología en la generación

de potencia eléctrica . En el cuadro (3-7) se muestran algunas de las importantes plantas en el mundo.

También existen plantas de pequeña escala utilizadas para bombeo de agua , acondicionamiento de aire, generación de electricidad en forma mixta con otras plantas convencionales (p.e la planta eléctrica de Meekatharra-Australia genera 75 KW mediante colectores cilindro-parabólicos).

Entre los requerimientos para las formas de explotación antes mencionados se exigen:

- Altos niveles de radiación solar directa: \gg 900Watts por metro cuadrado
- Alto número de horas de sol anual
- Grandes áreas para la captación de la radiación solar con mecanismos de seguimiento del sol sofisticados . Es precisamente el sistema de concentración, la componente que en la actualidad encarece esta alternativa de generación eléctrica; no obstante que con el gran avance tecnológico en la fabricación de los dispositivos de concentración, con el tiempo llegaran a reducir significativamente los costos.

En este sentido; de acuerdo a las evaluaciones de radiación solar en la Selva Baja donde se observa que la radiación directa es relativamente baja, sumado a los altos costos de inversión para la generación de potencia mediante esta tecnología, por el momento la energía solar no muestra factibilidad económica pues el tiempo de reintegro de capital sería prolongado.

- Conversión Fotovoltaica

En este proceso de conversión la energía radiante del sol se transforma directamente en electricidad . El campo de utilización puede orientarse a la satisfacción de pequeñas demandas eléctricas individuales en lugares muy alejados y carentes de otros medios energéticos

Entre las ventajas principales de la generación fotovoltaica se tienen:

- Requiere de mínimo mantenimiento
- Convierte en electricidad tanto la radiación solar directa como la difusa .
- Posee respuesta rápida de conversión de energía

Entre sus desventajas se caracterizan:

- Altos costos de generación eléctrica :6,000 a 8,000
US\$/ Kwpico.
- Eficiencias relativamente bajas

Dadas las características de la generación fotovoltaica y el nivel de radiación solar en la selva Baja ;tecnicamente se puede utilizar este medio en la generación eléctrica, pero si se quiere cubrir una demanda de la magnitud en estudio (160 KW) las inversiones serían muy altas y caberían limitaciones tecnológicas por lejanía de la zona .

3.3.2.3 Usos Adicionales de la Energía Solar

Entre otras aplicaciones que pueden desarrollarse en la Selva Baja se tienen:

Mediante la conversión fototérmica se tienen los colectores planos que dependiendo del fluido de calentamiento se denominan calentadores solares y secadores solares ;estos se muestran en las figuras (3-3) y (3-4).

Los calentadores solares pueden aplicarse para suministro de agua caliente en el sector doméstico o semindustrial ;en este último puede ir funcionando como un sistema auxiliar. En cuanto a los secadores solares, existen diferentes tipos diseñados de acuerdo a la capacidad y el elemento a secar. En el Perú generalmente se utilizan para el secado de productos agrícolas tales como, maíz, papa, ají, cebolla, cacao, frutas en general ,y también para el secado de carne (charqui). En el medio, la tecnología tanto de los calentadores como de los secadores es bastante conocido, por su simplicidad y su manejo que los caracterizan.

En la Selva Baja los secadores solares cobrarían mayor importancia que los calentadores puesto que esta región se caracteriza por ser predominantemente forestal (para secado de madera) y también agropecuario (para secado de frutas y carnes entre otros).

En cuanto al sistema fotovoltaico por lo mencionado anteriormente, la aplicabilidad se reduce a sistemas de telecomunicaciones de muy pequeña potencia (ubicados en zonas aisladas con escasa posibilidad de mantenimiento) y en la protección catódica (anti-corrosión) aplicada a las tuberías de petróleo.

3.3.3 Energía Hidráulica

Los saltos moderados de agua que se aprovechan en las pequeñas centrales hidroeléctricas se consideran dentro las fuentes alternativas no convencionales de energía.

3.3.3.1 Características del Recurso Hídrico

La Selva Baja peruana caracterizada por grandes

planicies y suaves ondulaciones (0-500 m.s.n.m.), está recorrida por inmensos rios cuyas velocidades de corriente son relativamente bajas

El potencial de recursos hídricos es estimado en un volumen de escurrimiento superficial medioanual cercano a los dos millones de metros cúbicos (98 % del total del país) con un potencial hidroenergético teórico estimado en 176,000 MW. (85 % del total del país).

Referente a desniveles de agua en los cauces de los rios, en el área de estudio se desconoce la existencia de saltos de agua de interes energético . Si se quisiera hacer un estudio mas allá de las cercanías a los pueblos mediante reconocimientos aerofotogramétricos, no se podría realizar una evaluación de pequeñas cascadas debido al follaje alto de la vegetación que aplana el relevamiento, lo cual impide notar cualquier salto existente.

Teniendo en cuenta que, si se pudiera localizar cualquier salto, ellos estarían lejos de los centros poblados; entonces bajo cualquier magnitud aprovechable salto/caudal para generación eléctrica en pequeña escala , el transporte de la electricidad y la infraestructura de generación, aumentaría la inversión local que no se justificaría para los niveles de demanda pequeños y aislados existentes en la Selva Baja. Por otro lado, una tecnología no convencional todavía en proceso de desarrollo son las Turbinas Hidráulicas "Flotantes". Estas turbinas aprovechan la energía cinética del agua con requerimientos de caída mínima. Dadas las características de los rios de la Selva Baja, pueden alcanzar cierto grado de aplicación.

Según el avance tecnológico alcanzado a la actualidad en este tipo de turbinas y, la realidad socio-económica de los pueblos de la región, su utilización puede orientarse al bombeo de agua y la generación de electricidad en pequeña potencia (escala puntual).

Con la finalidad de conocer, el funcionamiento, el desarrollo alcanzado y la posible aplicación en el área de estudio, a continuación se muestra un análisis sucinto de la tecnología de estas turbinas flotantes.

3.3.3.2 Turbinas Flotantes

Su principio de funcionamiento se basa en el aprovechamiento de la energía cinética del agua en grandes volúmenes y con velocidades de corriente relativamente bajas. La potencia que se puede extraer teóricamente de un fluido en movimiento está dado por :

$$P = \frac{\rho}{2} A \cdot V^3$$

donde:

- A : área interesada por la corriente fluida (m²)
- V : velocidad de la corriente fluida (m/s)
- ρ : densidad del fluido (Kg/m³)
- P : potencia teórica (watts)

De acuerdo al área interesada por la corriente fluida, existen dos tipos de turbinas es decir:

- Sistemas de eje rotor paralelo a la dirección del flujo : se tienen las turbinas axiales de Bulbo.
- Sistemas de eje rotor perpendicular a la dirección de la corriente fluida : se tienen las turbinas con

paletas de perfil alar.

En las figuras (3-5) y (3-6) se muestran cada uno de estos tipos .

A).- Turbinas de Bulbo

El equipo consta de un rotor-estator axial dispuesto dentro de un conducto tipo venturi y una envuelta de bulbo que contiene el dispositivo de transmisión del movimiento y el generador eléctrico , tal como se ilustra en la figura - (3-5). Actualmente su utilización en generacion eléctrica se limita a pequeña escala (menos de 20 kW).

Uno de los programas pioneros en el desarrollo de este tipo de turbinas es la AERO VIRONMENT de USA . Ellos han diseñado prototipos y experimentado en mas de 23 sitios patrones de 4 rios importantes de Estados Unidos , con turbinas que operan con cargas hidrostáticas inferiores a los 20cm. En - tre los resultados se tienen:

- Al aumentar la velocidad de flujo, disminuyen los rendimientos, y a velocidades suficientemente altas la velocidad de rotación se reduce repentinamente (desplome hidrodinámico). Estos dos efectos combinados traen como consecuencia (según algunos autores) , la limitación de la potencia de salida al aumentar la velocidad del flujo y el reglaje de la velocidad de rotación sin la ayuda de automatismos mecánicos o eléctricos.
- La relación costo/beneficio es interesante respecto a los rotores cuyo diámetro se encuentra entre 2 y 3 m y respecto a las potencias entre 5 y 20 KW.

- Los rendimientos alcanzados superan el 30%
- Actualmente los costos del equipo están en no menos de 1,500 USS/ KW.

B).- Turbinas de eje perpendicular a la dirección del flujo

En estas máquinas, el eje del rotor puede ser vertical u horizontal pero siempre perpendicular al flujo de la corriente, así como se muestra en la figura (3-6).

Sobre el cuerpo del rotor se encuentran montados 3 o 4 paletas de perfil aerodinámico

El programa pionero en este tipo de turbinas es la I.T.D.G del Reino Unido, quienes han orientado esta tecnología a la generación de energía mecánica en pequeña escala, para el accionamiento de bombas hidráulicas; para ello diseñaron y experimentaron dos prototipos con las siguientes características:

- Primer prototipo : Es de eje vertical, alcanza una velocidad de rotación de 13.5 rpm en una corriente de 1 m/s; una serie de poleas incrementan la velocidad hasta 960 rpm para accionar una bomba centrífuga instalada sobre la plataforma según como se muestra en la figura (3-7).

Con velocidades de flujo de 1.07 y 1.18 m/s el caudal bombeado llega respectivamente a 2.7 y 3.5 l/s.

Este prototipo también acciona un alternador trifásico de pequeño tamaño cuya corriente eléctrica sirve para alumbrar la plataforma y para cargar baterías comunes de 12 voltios.

- Segundo Prototipo : Es de eje horizontal, la conexión bomba-turbina es directa lo cual hace más económico y eficiente que el anterior (eliminación de la transmisión y multiplicación

ción de velocidad y por ende, las pérdidas que esta parte ocasiona).

Fue proyectado para operar en corrientes de 1 m/s y bombear 1 l/s a un desnivel de 10 m.

Con las experiencias alcanzadas con los prototipos, desde 1,984 la I.T.D.G dispone de dos patrones para bombeo de agua , cuyas características y costos se dan en el Apéndice 1.

Visto el desarrollo tecnológico actual de las turbinas flotantes se puede decir que las turbinas I.T.D.G. pueden ser aplicables demostrativamente para el accionamiento de bombas hidráulicas, mientras que las turbinas de bulbo se pueden experimentar en generación eléctrica en potencias reducidas menores de 20 KW

En ambos casos, por el momento no se justificaría económica y técnicamente su utilización en la generación eléctrica del orden requerido por la mayoría de los pueblos existentes en la Selva Baja peruana, que se consideran dentro de un plan de electrificación aislada.

3.3.4 Energía Geotérmica

Es la energía térmica disponible en las rocas, el agua caliente y el vapor situados en la superficie terrestre , ocasionados por las grandes temperaturas existentes en el interior de la tierra . Según sea la presión, temperatura y la composición química del fluido geotermal , este puede aprovecharse como fuente primaria para la generación de energía eléctrica mediante conversión termo-mecánica (ciclo Rankine).

3.3.4.1 Manifestaciones Geotérmicas

En el Perú ,la emanación de aguas termales se presentan en casi todos los departamentos a excepción de Lambayeque y Madre de Dios ;la mayor concentración se aprecia en la región andina y escasa en la región selva.

En la Selva se tiene conocimiento de la existencia de manantiales termales en los siguientes departamentos :

- Amazonas : lugares de Asmayacu, Vituya y Cuelacha
- San Martín : Moyobamba
- Ucayali : Contamana-Canchahuaya
- Huánuco : Aguas Calientes

Respecto a estos manantiales para una apreciación sobre los posibles usos energéticos (aparte del uso en baños medicinales) será necesario efectuar estudios con análisis Físico-químicos de las aguas y un reconocimiento geológico de estas zonas .

3.3.4.2 Aplicaciones Posibles

Si bien a la actualidad no se han realizado actividades de exploración y evaluación de recursos geotérmicos para fines de generación de energía eléctrica, actualmente se tiene en el mercado, la tecnología de pequeños sistemas geotermiales tales como para crear una opción energética en lugares de la Selva que pudieran gozar de este recurso.

En la actualidad se ofrecen minicentrales geotérmicas que pueden generar electricidad de 300 a 700 kW de potencia cuyos parámetros característicos se muestran en el cuadro (3-8). Estas unidades están ensambladas como un paquete, probadas en fábrica y diseñadas para operar automáticamente sin

mayor atención operativa ,requieren de un suministro constante de agua fría para el intercambio de calor en el condensador y aceptan agua geotermal con temperaturas entre 85 a 150 °C . El costo instalado aproximado es de 1,700 USS/KW sin incluir los pozos.

La captación y la utilización industrial de los fluidos geotérmicos representa una actividad tecnológica de cierta complejidad,por lo que cada uno de los posibles proyectos geotérmicos tienen que someterse a un estudio técnico-económico específico comparativo con otras formas alternativas de energía que se presenten en la región.

3.3.5 Energía Forestal

.Es la energía que puede aprovecharse del árbol (dentro) como fuente primaria para convertirla en energía final,tal como por ejemplo energía mecánica ,electricidad

3.3.5.1 Evaluación del Recurso Forestal

Segun el Mapa Forestal del Perú elaborado por la universidad Agraria La Molina ,los bosques productivos heterogéneos de la Selva Baja (Loreto,Ucayali,Madre de Dios) han sido estimados en 47.75×10^6 hectáreas,con un volumen promedio de $6.23 \times 10^9 \text{ m}^3$. Si se considera una densidad media de leña de 600 Kg/m^3 y su poder calorífico promedio de $3,300 \text{ Kcal/Kg}$,el potencial energético teórico se estima en $12.3 \times 10^9 \text{ Gcal}$. El cuadro (3-9) muestra el potencial energético forestal de la Selva Baja,cuyo valor representa teoricamente satisfacer el consumo de energía final total del Perú durante 125 a175 años .

De hecho, no toda esta energía se podría utilizar en la conversión tecnificada a energía final; entonces para una evaluación energética de la biomasa forestal explotable se tiene que realizar un plan de intervención donde se tenga en cuenta la calidad energética, la conservación del equilibrio ecológico, la regeneración del bosque energético (carácter renovable), la ubicación del bosque frente a la demanda posible, la existencia de biomásas adicionales (excedentes biomásicos provenientes de la agroindustria y agricultura) y la factibilidad técnico-económica de su explotación y conversión a energía final.

La Selva Baja peruana está cubierta casi en su totalidad de bosques productivos heterogéneos, es decir con un elevado número de especies por unidad de área que a la actualidad se estiman en más de 2,800 especies arbóreas; de estas, no menos del 45 % son maderas duras que precisamente son las que reúnen mejores condiciones energéticas.

Tal como se demostrará en los capítulos siguientes los productos biomásicos que muestran una mayor facilidad de explotación energética, por estar disponibles en cantidad y con aceptable grado de concentración en la Selva Baja se tienen:

Recurso forestal (leña) 40 a 240x10⁶ Gcal.

Residuos de aserraderos

(restos de madera procesada) 200x 10³ Gcal/a

Residuos de la industria del arroz 260x 10³ Gcal/a

Por otro lado, el crecimiento progresivo de explotación de la industria arrocera y forestal (aserraderos) permitirá asegurar más aún el nivel de concentración, favoreciendo económicamente y en forma progresiva a la producción de energía eléctrica.

ca a base de energía forestal.

En forma general, se puede observar que con tan solo la explotación de especies no comerciales, los recursos energéticos forestales cubren ampliamente la demanda energética pertinente, situación que no se da con las demás fuentes energéticas alternativas analizadas anteriormente.

3.3.5.2 Utilización Energética

Como, es objetivo del presente estudio demostrar la factibilidad del aprovechamiento de la biomasa forestal como fuente primaria para cubrir demandas de energía mecánica y/o eléctrica de los pueblos de la Selva Baja y en especial la demanda de un lugar típico; a lo largo del desarrollo se demostrará que esta fuente energética alternativa y, la tecnología presentada es la más apropiada para la realidad de la mayoría de los lugares aislados y marginales de la Selva baja peruana.

CUADRO (3-1)

Velocidades medias del viento en zonas
típicas de la Selva peruana (m/s)

Mes	Iqui- tos	Yuri- maguas	Tara- poto	Juan- jui	Puca- llpa	Tingo maría	Pto. Maldo	Quince mil
Enero	1.0	1.0	2.6	2.1	1.5	0.5	2.6	1.5
Febrero	1.5	1.0	2.1	1.5	1.5	0.5	2.6	1.0
Marzo	1.5	1.0	1.0	2.1	1.0	0.5	2.6	0.5
Abril	1.0	0.5	1.0	1.5	1.0 ¹	0.5	2.6	1.5
Mayo	1.0	0.5	0.5	1.5	1.0	0.05	2.6	1.5
Junio	0.5	0.5	0.5	1.15	1.0	0.5	2.6	3.1
Julio	0.5	0.5	0.5	1.5	1.0	1.0	2.6	0.5
Agosto	1.0	1.0	0.5	1.5	1.5	1.0	3.1	2.1
Setiemb.	1.0	1.0	0.5	1.5	1.5	1.0	2.6	2.1
Octubre	1.5	1.0	0.5	2.1	1.5	0.5	3.1	2.1
Noviemb.	1.5	1.0	0.5	1.5	2.1	0.5	3.1	2.1
Diciemb.	1.0	1.0	2.1	2.1	1.5	0.5	2.6	1.5
Promedio Anual	1.1	0.8	1.0	1.7	1.2	0.6	2.7	1.6

Fuente : Atlas Eólico Regional - OLADE

CUADRO (3-3)

COUNTRY : PERU
 STATION : PUCALLPA
 NUMBER :
 LATITUDE : 8 25 S
 LONGITUDE : 74 36 W
 ELEVATION : 148 (METERS)

AVERAGE DAILY RADIATION ON HORIZONTAL SURFACE (KJ/M2)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEARLY TOTAL (GJ/M2)
MODIFIED ANGSTROM													
TOTAL	19978	18678	17917	15386	13331	13121	13364	16242	16396	17083	19563	15951	5.993
DIRECT	11580	10437	10041	8309	7040	7330	7253	9366	8902	9125	11258	9675	3.353
DIFFUSE	8398	8241	7876	7077	6291	5991	6111	6876	7493	7958	8305	6275	2.640

ANGSTROM

TOTAL	17545	16165	15432	12839	10790	10887	10905	13904	13855	14462	17151	13722	5.094
DIRECT	9323	8189	7830	6149	4962	5265	5189	7262	6718	6884	9039	7601	2.565
DIFFUSE	8222	7976	7602	6690	5828	5622	5716	6642	7137	7578	8112	6121	2.529

SCHUEPP

TOTAL	18984	17792	17023	14414	12245	12196	12269	15238	15486	16201	18636	14756	5.628
DIRECT	10642	9626	9226	7458	6120	6346	6304	8443	8096	8347	10390	8548	3.025
DIFFUSE	8341	8167	7797	6956	6125	5850	5965	6795	7389	7854	8246	6209	2.604

SUNSHINE

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEAR
HOURS	6.7	5.6	5.4	4.4	3.7	4.4	4.2	5.6	4.7	4.6	6.4	6.6	5.2
	5.4	4.6	4.5	3.7	3.2	3.6	3.6	4.8	3.9	3.6	5.2	5.7	4.4

CUADRO (3 - 4)

COUNTRY : PERU STATION : PUERTO MALDONADO NUMBER
 LATITUDE : 12 38 S LONGITUDE : 69 12 W ELEVATION : 265 (METERS)

AVERAGE DAILY RADIATION ON HORIZONTAL SURFACE (KJ/M2)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEARLY TOTAL (GJ/M2)
MODIFIED ANGSTROM													
TOTAL	19067	18763	17437	16959	14088	12435	13259	15019	17587	19131	19571	19892	6.177
DIRECT	10428	10364	9652	9991	8051	6917	7521	8523	10117	10916	10978	11156	3.484
DIFFUSE	8639	8398	7785	6968	6037	5518	5739	6495	7471	8215	8592	8736	2.693

ANGSTROM

TOTAL	16622	16382	15059	14804	11855	10170	11031	12779	15370	16901	17245	17527	5.341
DIRECT	8247	8239	7555	8012	6084	4993	5581	6545	8102	8876	8860	8993	2.738
DIFFUSE	8376	8143	7504	6792	5771	5177	5450	6234	7267	8025	8384	8534	2.603

SCHUEPP

TOTAL	18335	18071	16684	16086	13105	11393	12248	14127	16807	18443	18858	19125	5.874
DIRECT	9759	9731	8971	9175	7164	6006	6617	7716	9394	10273	10315	10441	3.208
DIFFUSE	8577	8340	7713	6911	5941	5388	5631	6411	7414	8169	8542	8685	2.666

SUNSHINE

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEAR
HOURS	5.7	5.6	5.2	6.3	5.0	4.3	4.6	5.1	5.8	6.1	6.2	6.4	5.5
	45	45	43	52	44	38	42	44	49	50	49	50	50

CUADRO (3-6)

COUNTRY : PERU STATION : SAN RAMON NUMBER
 LATITUDE : 11 R S LONGITUDE : 75 IR W ELEVATION : 000 (METERS)

AVERAGE DAILY RADIATION ON HORIZONTAL SURFACE (KJ/M2)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEARLY TOTAL (GJ/M2)
MODIFIED ANGSTROM													
TOTAL	16398	15903	15476	15764	15280	14424	15042	16346	16814	17979	17923	17353	5.923
DIRECT	8160	7874	7892	8793	9028	8604	9040	9652	9353	9872	9555	8952	3.250
DIFFUSE	8238	8029	7584	6971	6252	5821	6003	6693	7461	8107	8368	8402	2.673

ANGSTROM

TOTAL	14232	13718	13394	14048	13745	12886	13557	14869	15118	16270	16072	15335	5.271
DIRECT	6384	6107	6182	7274	7615	7185	7657	8284	7842	8346	7932	7227	2.680
DIFFUSE	7848	7611	7213	6775	6130	5701	5899	6585	7276	7924	8141	8108	2.591

SCHUEPP

TOTAL	16219	15695	15264	15599	14967	14002	14669	16156	16750	18026	17925	17254	5.857
DIRECT	8007	7698	7711	8642	8734	8208	8687	9474	9295	9914	9557	8864	3.190
DIFFUSE	8212	7997	7553	6956	6232	5794	5982	6602	7455	8111	8368	8390	2.667

SUNSHINE

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEAR
HOURS	3.1	3.0	3.0	4.0	5.0	5.9	6.2	6.1	5.1	5.3	5.0	4.8	5.0
	31	28	30	40	51	52	54	53	43	43	40	40	42

CUADRO (3-7)

Grandes Centrales Solares de Generación
de Potencia Eléctrica en el Mundo

País	Nombre de la Planta	Potencia Eléctrica	Tipo de Sistema de Concentración	Costo medio
		MW		US\$/KW
USA	.Proyecto SEGS	1x13.3 + 6x 30	Cilindros Parabólicos	4,500 y 3,200
	.Solar One	10	Heliostatos	6,000
	.Carrisa	30	Heliostatos	6,000
	.Adrano (Eurelios)	1	Heliostatos	-
ESPAÑA	.Plataforma Solar de Almeria	1 + 0.5+	Heliostatos Cilindros Parabólicos	
		0.5	Heliostatos	

CUADRO (3-8)

Aplicaciones Típicas Geotermales

OEC MODEL 8000

Fluido Geotermal			Agua Enfriamiento Capacidad		
Temperat. Entrada °C	Temperat. Salida °C	Régimen Flujo l/s	Temperat. Entrada °C	Flujo l/s	Potencia Salida KW
149	92.7	30.0	21.1	157.7	680
135	82.2	31.5	14.4	164	640
134	97.2	44.1	12.8	157.7	685
107	82.2	50.5	12.77	157.7	450
106	93.9	189.2	21.1	208.1	770
97.8	85.5	189.2	21.1	208.1	690
89.4	78.3	189.2	21.1	208.1	540
82.2	68.3	126.1	10.0	164	390

Fuente : Ing. R. Moro - ELECTROPERU

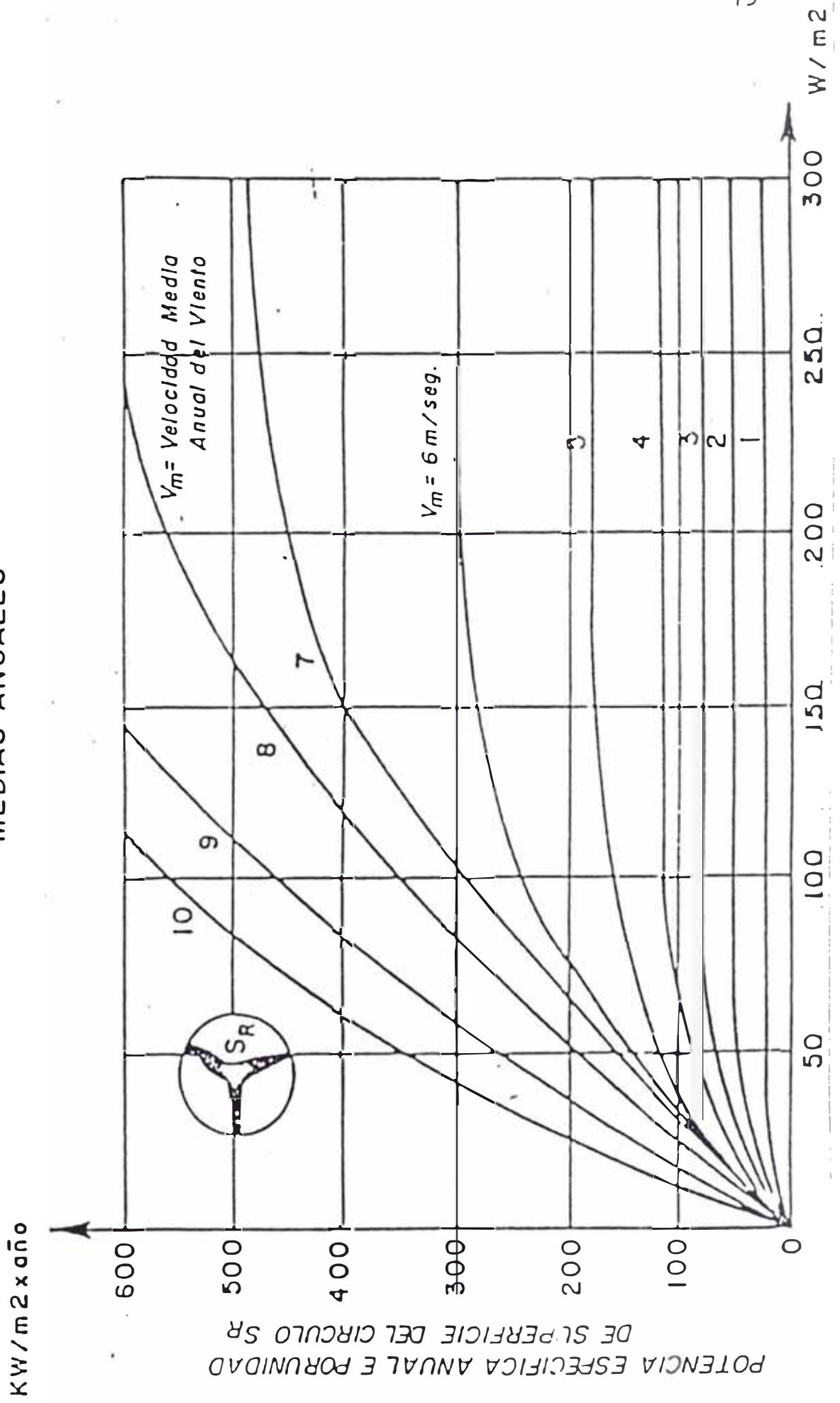
CUADRO (3-9)

Potencial Forestal de la Selva Baja

Tipo de bosques Productivos	Loreto y Ucayali		Madre de Dios	
	Area Ha.x10 ⁶	Volumen m ³ x10 ⁹	Area Ha.x10 ⁶	Volumen m ³ x10 ⁹
Aluvial Clase I	2.480	0.397	0.932	0.149
Aluvial Clase II	6.492	0.743	0.636	0.073
Aluvial Clase III	4.345	0.391	0.530	0.047
Colina Clase I	10.900	1.744	1.036	0.166
Colina Clase II	12.280	1.658	2.113	0.285
Colina Clase III	4.402	0.418	1.635	0.155
Total	40.901	5.351	6.882	0.876

Fuente :-Mapa Forestal : Universidad Nacional Agraria
 -Ministerio de Agricultura :Potencial del re-
 curso forestal maderable ,Feb 1982
 -Anuario de Estadística Forestal y de Fauna
 Silvestre, 1980

FIG(3-1) POTENCIA ANUAL ESPECIFICA POR UNIDAD DE SUPERFICIE DE AEROGENERADORES PARA DIVERSAS VELOCIDADES MEDIAS ANUALES



POTENCIA ESPECIFICA ANUAL E POR UNIDAD DE SUPERFICIE DEL CIRCULO SR

KW/m² x año

W/m²

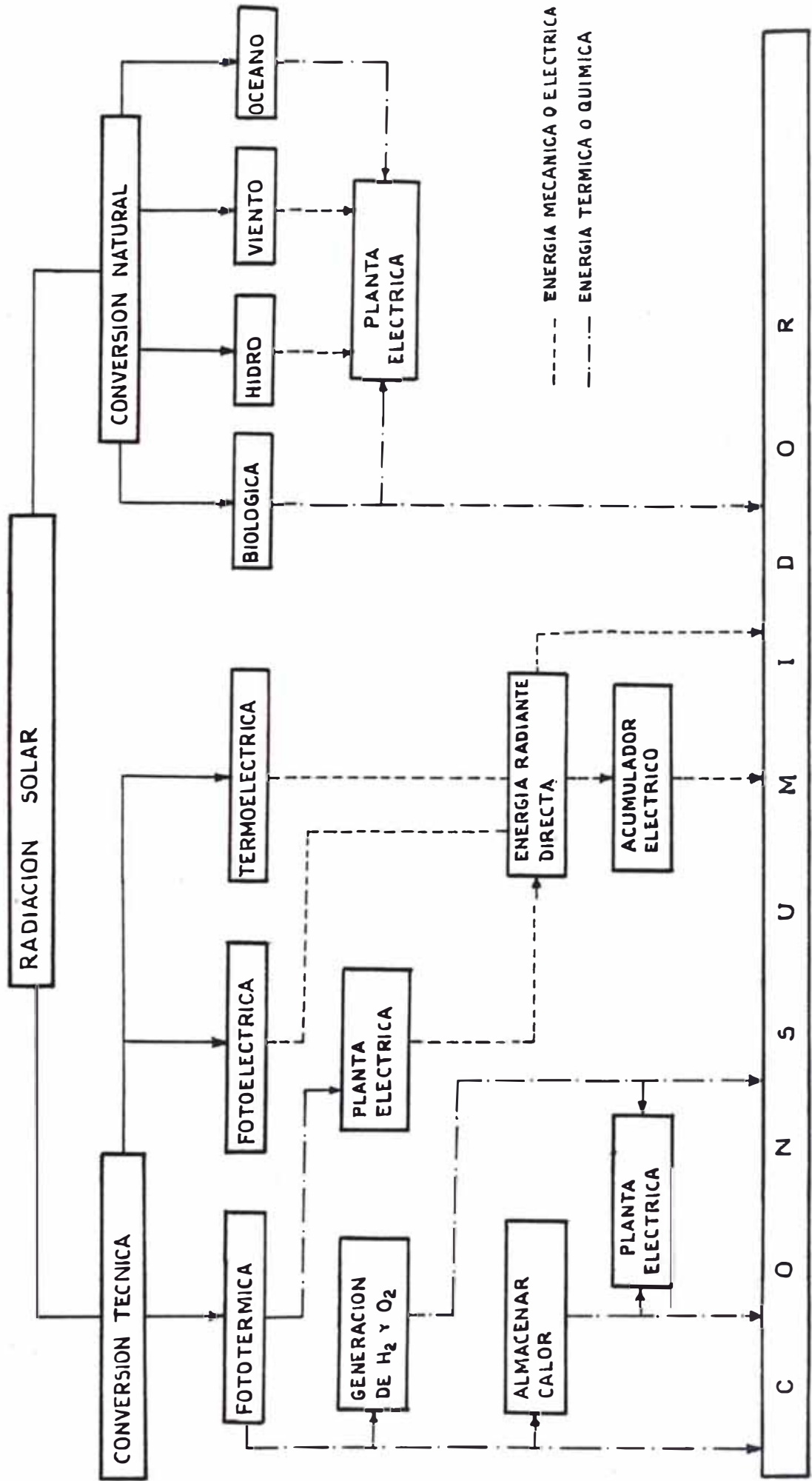


FIG (3-2) CONVERSION DE LA ENERGIA SOLAR

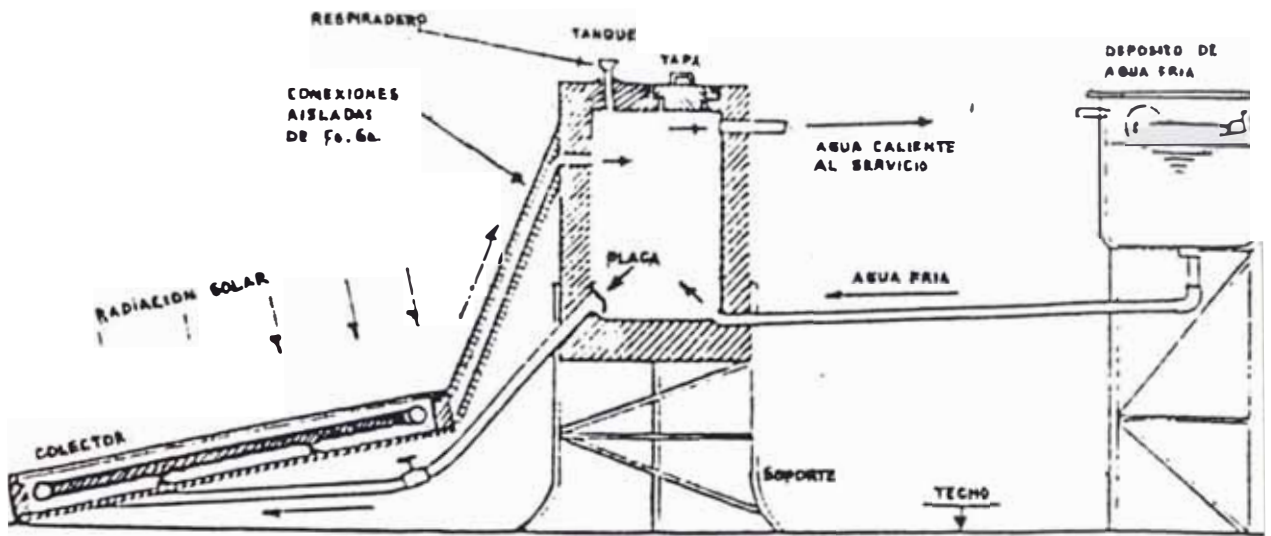


FIG (3-3)a CORTE DE UNA TERMA SOLAR CLASICA ARTESANAL

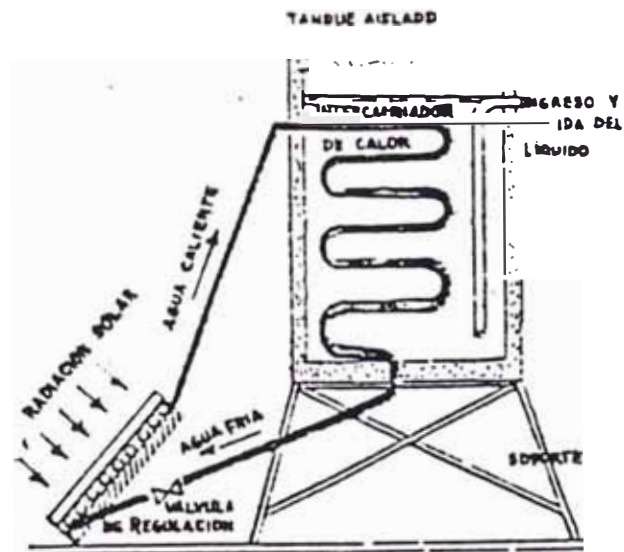
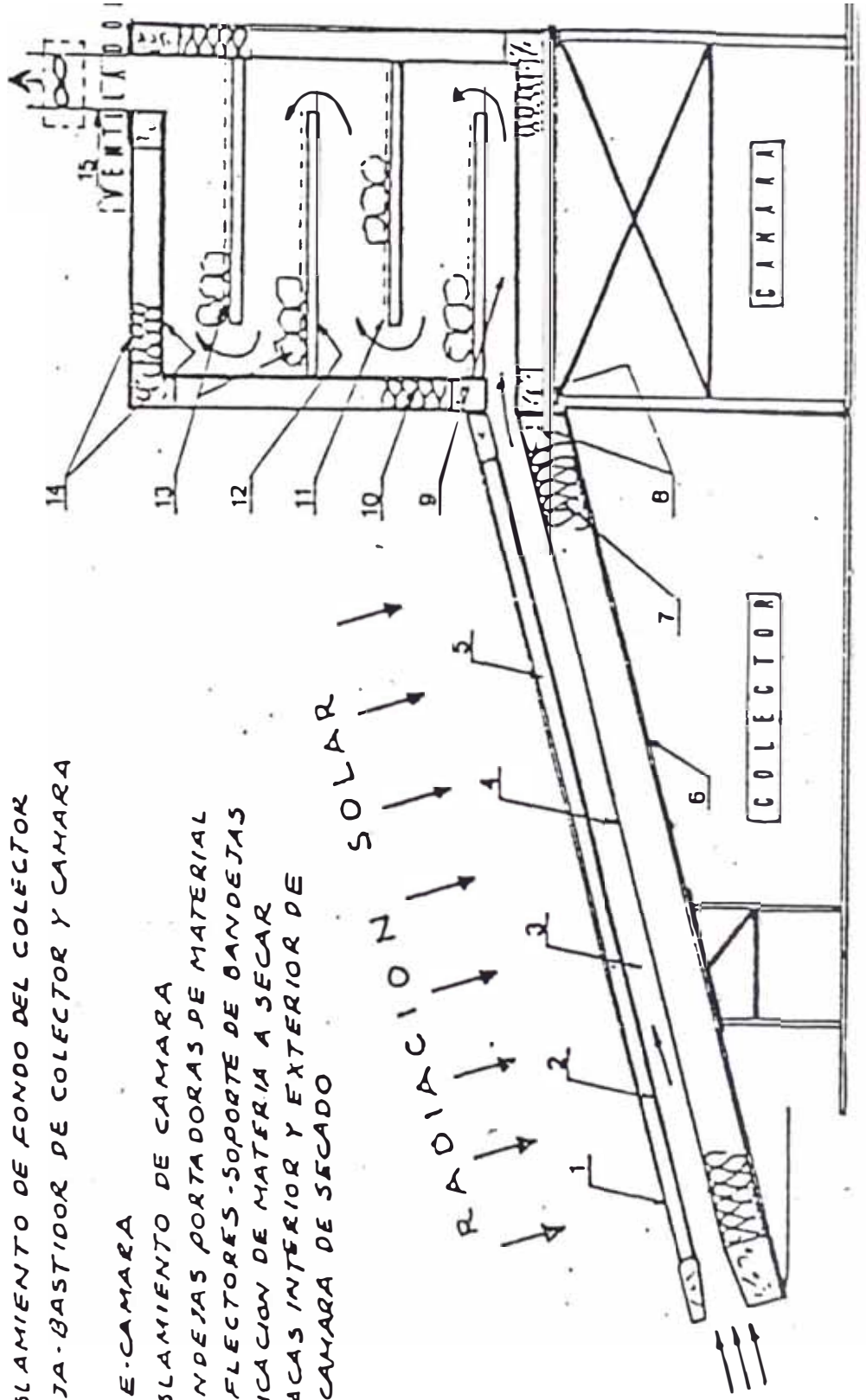


FIG. (3-3)b CALENTADOR SOLAR PARA LIQUIDOS DE TIPO INDUSTRIAL DE CIRCULACION DUAL

FIG. (3-4) SECADOR SOLAR

1. CUBIERTA TRANSPARENTE
2. PLACA ABSORBEDORA ENNEGRECIDA
3. "DUCTO" O PASAJE PARA EL AIRE
4. PLACA DE FONDO
5. ESPACIO DE AIRE ESTANCO
6. SUPERFICIE DE FONDO EXTERIOR
7. AISLAMIENTO DE FONDO DEL COLECTOR
8. CAJA-BASTIDOR DE COLECTOR Y CAMARA
9. PRE-CAMARA
10. AISLAMIENTO DE CAMARA
11. BANDEJAS PORTADORAS DE MATERIAL
12. DEFLECTORES-SOPORTE DE BANDEJAS
13. UBICACION DE MATERIA A SECAR
14. PLACAS INTERIOR Y EXTERIOR DE LA CAMARA DE SECADO



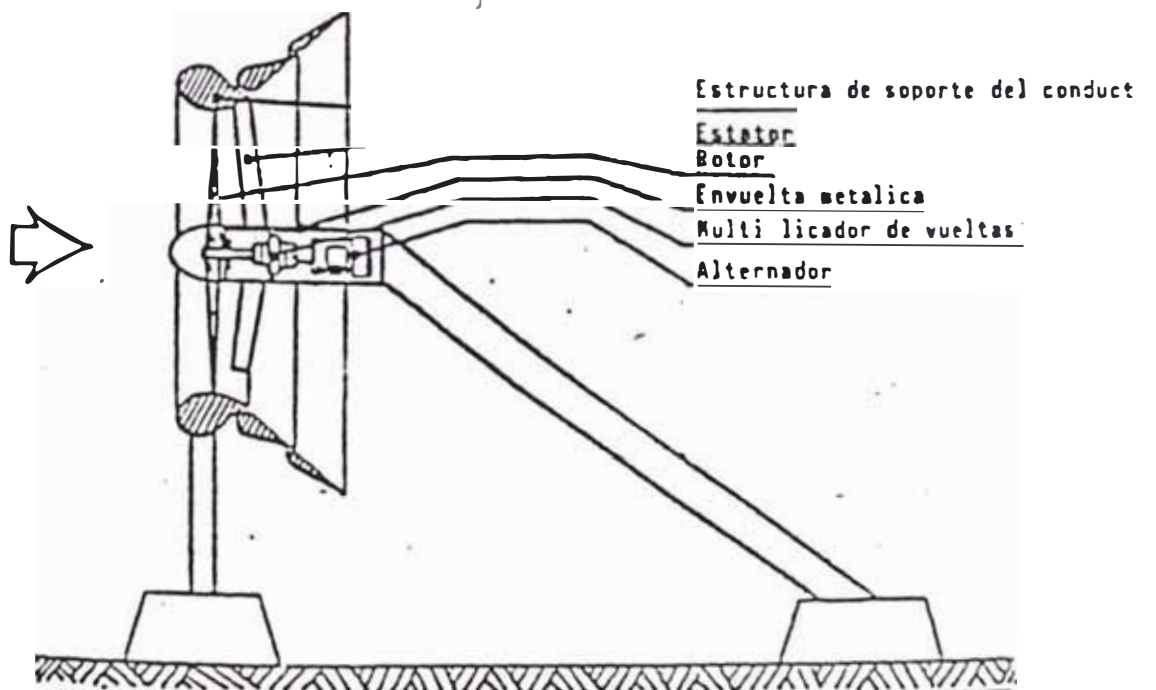
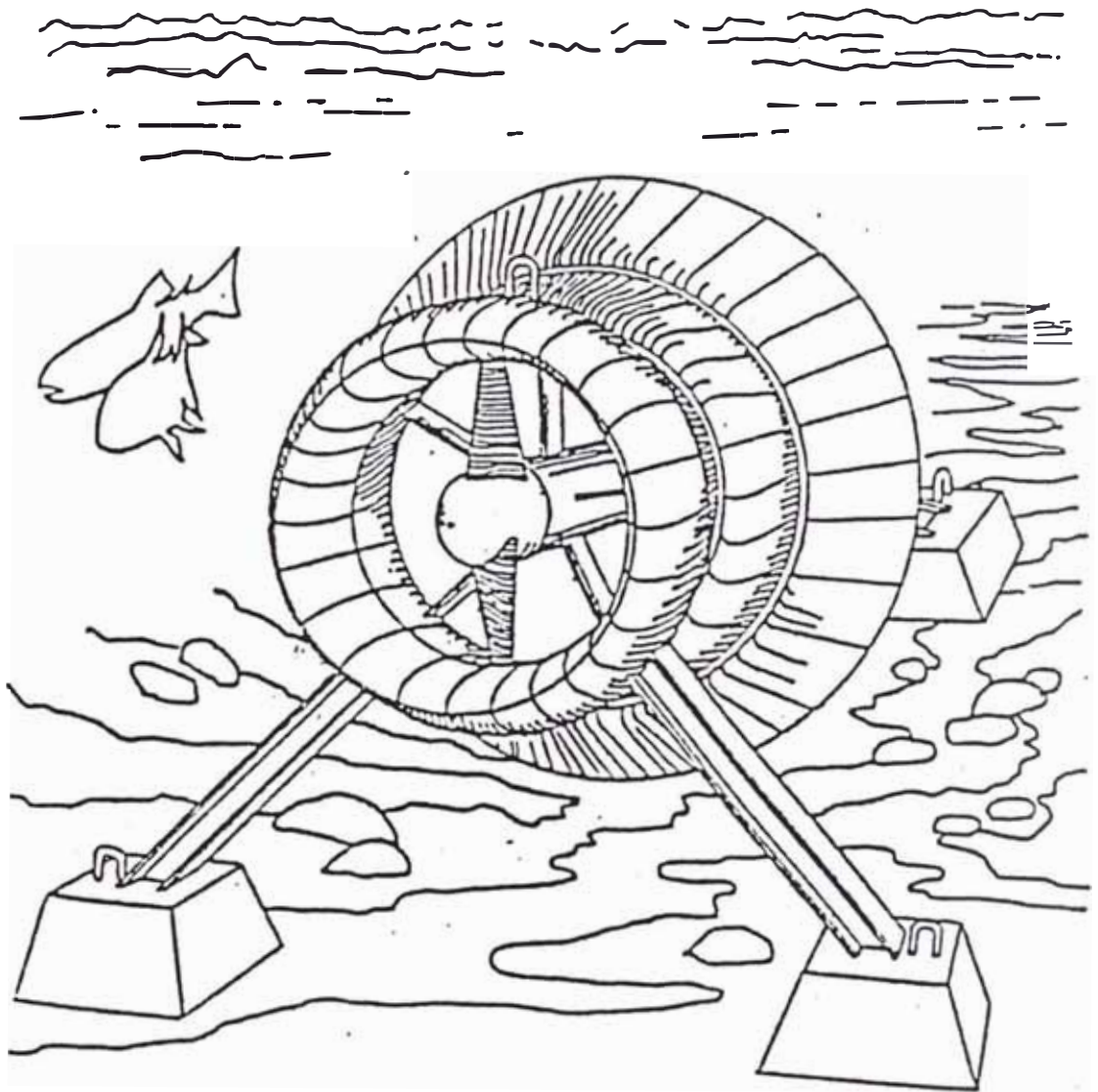
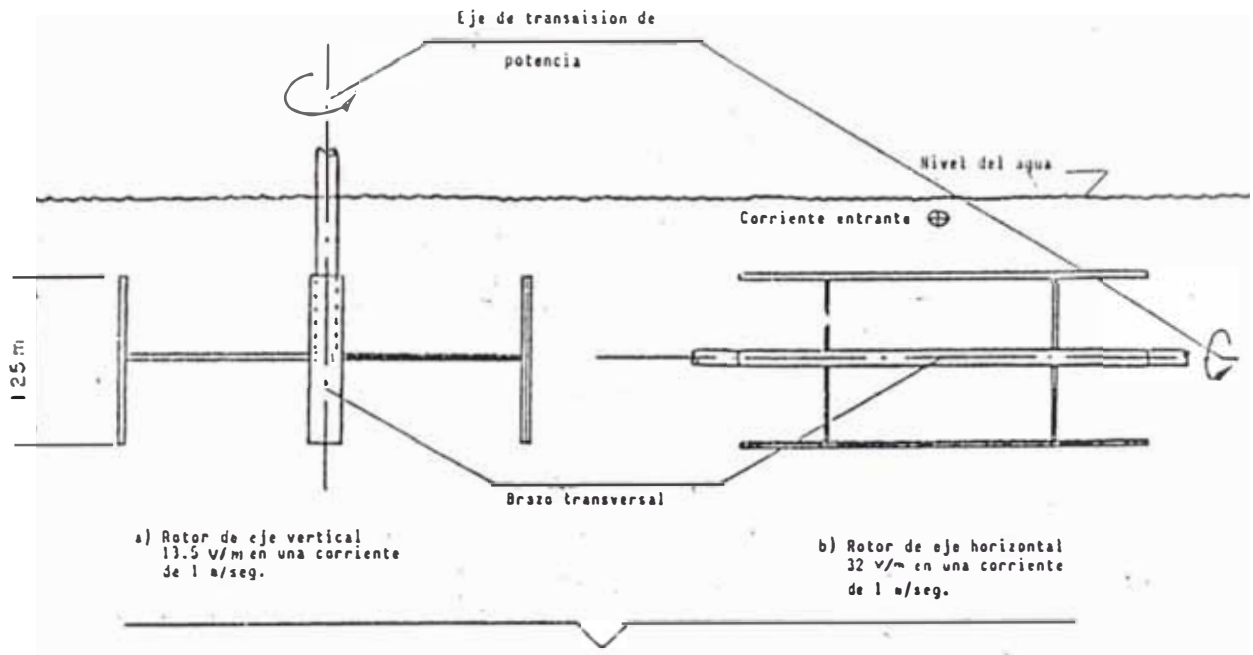


FIG. (3-5). TURBINA DE BULBO



La potencia se calcula sobre la seccion transversal de 3.75 m²

FIG. (3-6) TURBINAS DE EJE PERPENDICULAR A LA DIRECCION DEL FLUJO

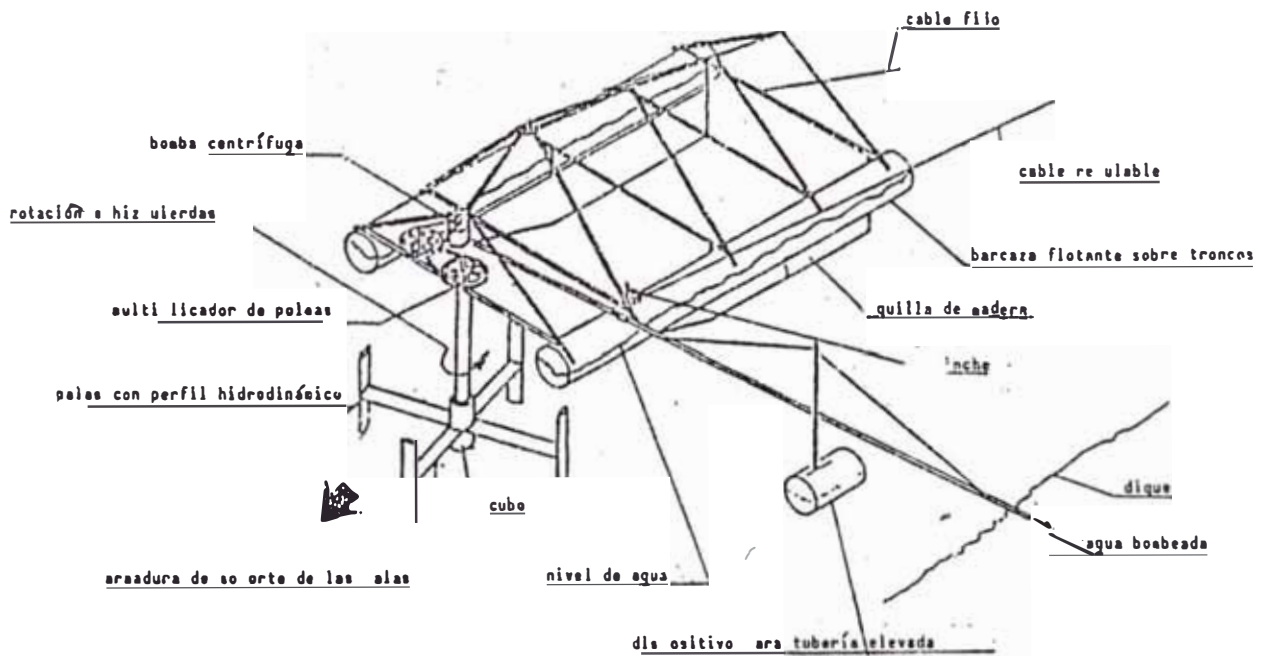


FIG. (3-7) PROTOTIPO DE BOMBEO FLOTANTE I.T.D.G.

C A P I T U L O

LA BIOMASA FORESTAL COMO UNA GRAN RESERVA ENERGETICA EN LA SELVA BAJA

4.1 La Biomasa Forestal en el Perú

La Selva peruana tiene una extensión aproximada de 770,000 Km², es decir el 60 % del territorio nacional. En ella se encuentra la mayor parte de los recursos forestales del país, representados en bosques naturales tropicales y sub-tropicales, por lo que, en la actualidad es la región donde se realiza la gran mayoría de actividades industriales madereras.

Comparativamente con la sierra y costa peruana la Selva posee la más baja densidad de población (15 % de la población del Perú), el 65 % vive en áreas urbanas y el 35 % en zonas rurales ; situación que no va acorde, lejanamente, con la inmensidad de sus riquezas naturales.

Debido a las características fisiográficas , edáficas, florísticas y socio-económicas a la Selva peruana se le subdivide en tres sub-zonas denominadas Ceja de Selva, Selva Alta y Selva Baja , cuyas características principales son:

- Ceja de Selva

Se inicia entre los 3,800 y 4,000 m.s.n.m, donde la vege-

tación natural se torna exuberante ;su topografía es abrupta,la función principal de los bosques que lo conforman es la protección de las cuencas hidrográficas por lo que su conservación es vital.

- Selva Alta

Está ubicada entre los 600 y 2,500 m.s.n.m ,la vegetación es más vigorosa y variada que la anterior,con bosque mas variado y denso.

- Selva Baja

Esta ubicada entre 0 y 600 m.s.n.m ;su extensión abarca casi la totalidad de los departamentos de Loreto ,Ucayali ,Madre de Dios y la microregión Pachitea-Pichis-Palcazú. Está caracterizada por grandes planicies y suaves ondulaciones con extensa vegetación ,integrada mayormente por la llamada "Llanura amazónica". Entre sus características favorables se tienen :

- La heterogeneidad florística ;es decir existe una gran variedad de especies forestales en abundancia,lo que representa un amplio espectro de posibilidades de utilización. Existen especies blandas (apropiadas para la industria manufacturera) y en mayor porcentaje especies duras (apropiadas para fines energéticos)
- Alta densidad volumétrica por unidad de área;es decir gran concentración de árboles por unidad de área ,característica importante para la delimitación óptima del bosque para fines energéticos.

La Selva Baja es la sub-zona que ofrece las mejores posibilidades inmediatas de desarrollar una gran industria forestal integral, es decir la explotación maderera hacia la industria manufacturera (industria del mueble, parquet, etc) y hacia el aprovechamiento energético para su conversión tecnificada en energía útil, orientado siempre a que, la explotación sea renovable y no afecte el equilibrio ecológico.

4.2 Potencial Forestal de la Selva Baja

Para hacer la descripción de las unidades que lo conforman al mapa forestal del Perú, el área boscosa lo han clasificado (UNA) en bosques de protección y bosques productivos .

Los bosques de protección; están ubicados mayormente en las partes altas de las cuencas hidrográficas, ceja de selva y terrenos muy accidentados. Estos cumplen una labor neta de protección contra los procesos de erosión hídrica y eólica por lo que es indispensable su conservación e intangibilidad.

Los bosques Productivos, son aquellos capaces de ser aprovechados o utilizados en forma económica ; se les subdivide en bosques productivos heterogéneos, bosques productivos homogéneos y plantaciones forestales.

La Selva Baja está compuesta exclusivamente de bosques productivos heterogéneos los cuales se caracterizan por su elevado número de especies por unidad de superficie, que están distribuidas de acuerdo a zonas o formaciones ecológicas,-

de tal forma que en un determinado lugar no se encuentran todas las especies.

Los bosques productivos heterogéneos están clasificados en:

Bosque Aluvial Clase I

Bosque Aluvial Clase II

Bosque Aluvial Clase III

Bosque de Colinas Clase I

Bosque de Colinas Clase II

Bosque de Colinas Clase III

Las características de cada una se verán en los tipos de bosques existentes en la Selva peruana.

4.2.1 Potencial Forestal del Departamento de Loreto

El departamento de Loreto tiene una superficie a - proximada de 37.525×10^6 Has de los cuales 32.088×10^6 Has están cubiertos por bosques productivos heterogéneos, es - decir el 85.5% de su superficie total.

Según el Mapa Forestal del Perú se tiene :

- Estos bosques poseen un volumen maderable promedio de $130 \text{ m}^3/\text{Ha}$.
- El porcentaje de especies duras está entre 30 a 45 % por hectárea.

Especies duras son aquellas maderas que mejor se adecúan para fines energéticos yá que su densidad es no menor de 600 Kg/m^3 y el poder calorífico medio puede considerarse - en $3,300 \text{ Kcal/Kg}$ para una humedad no mayor del 25 %.

En términos másicos el potencial forestal existente en es- departamento es :

$$32.088 \times 10^6 \text{ Ha} \times 130 \text{ m}^3/\text{Ha} \times 600 \text{ Kg}/\text{m}^3 = 2.502 \times 10^{12} \text{ Kg}$$

en especies totales y 1.1×10^{12} Kg en especies duras.

En términos de energía se tiene:

$2.502 \times 10^{12} \text{ Kg} \times 3.3 \times 10^{-3} \text{ Gcal}/\text{Kg} = 8.256 \times 10^9 \text{ Gcal}$ de energía teórica total y $3.715 \times 10^9 \text{ Gcal}$ de energía de las especies duras. Esta última es equivalente a 2.51×10^9 barriles de petróleo utilizados como combustible.

La intención de estos valores es, dar una referencia de la inmensa capacidad del recurso energético existente frente a la magnitud de biomasa requerida como combustible para la generación de electricidad, que como se demostrará posteriormente, es insignificante.

4.2.2 Potencial Forestal del Departamento de Ucayali

El departamento de Ucayali tiene una superficie total aproximada de $10.252 \times 10^6 \text{ Has}$ (según Instituto Geográfico Militar), de los cuales cerca del 86% está conformado por bosques productivos heterogéneos, vale decir aproximadamente $8.781 \times 10^6 \text{ Has}$, cuyas especies que lo constituyen tienen un volumen promedio por hectárea de 130 m^3 .

De acuerdo a estudios realizados por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales -ONERN-, el 46 % de las especies son maderas duras.

por tanto, en términos másicos el potencial forestal existente en este departamento es:

$$8.781 \times 10^6 \text{ Ha} \times 130 \text{ m}^3/\text{Ha} \times 600 \text{ Kg}/\text{m}^3 = 0.685 \times 10^{12} \text{ Kg.}$$

en especies totales y 0.315×10^{12} Kg en especies duras.

En términos energéticos se tiene:

$$0.685 \times 10^{12} \text{Kg} \times 3.3 \times 10^{-3} \text{Gcal/Kg} = 2.26 \times 10^9 \text{Gcal.}$$

de las cuales $1.04 \times 10^9 \text{Gcal}$, corresponden a especies madereras duras que en barriles de petróleo equivale a $7.02 \times 10^8 \text{BP}$.

4.2.3 Potencial Forestal del Departamento de Madre de Dios

Este departamento tiene una extensión total aproximada de $7.84 \times 10^6 \text{Has}$, de los cuales $6.882 \times 10^6 \text{Has}$ están cubiertos por bosques productivos heterogéneos (87.8% del total), con un volumen promedio por hectárea de 130 m^3 .

En unidades másicas el potencial forestal de este departamento es:

$$6.882 \times 10^6 \text{Ha} \times 130 \text{ m}^3/\text{Ha} \times 600 \text{Kg/m}^3 = 0.536 \times 10^{12} \text{Kgs}$$

en especies totales y $0.241 \times 10^{12} \text{Kgs}$ en especies duras.

En cantidades de energía se tiene:

$$0.536 \times 10^{12} \text{Kg} \times 3.3 \times 10^{-3} \text{Gcal/Kg} = 1.768 \times 10^9 \text{Gcal};$$

de éste se estima $0.795 \times 10^9 \text{Gcal}$, corresponden a especies madereras duras que equivale a 5.37×10^8 barriles de petróleo utilizado como combustible.

La superficie total de bosques productivos heterogéneos de la Selva Baja peruana lo componen :

Loreto	$32.088 \times 10^6 \text{Has.}$
Ucayali	$8.781 \times 10^6 \text{ "}$
Madre de Dios	$6.882 \times 10^6 \text{ "}$
Micro-Región: Pachitea	
Pichis-Palcazú	$0.902 \times 10^6 \text{ "}$

Total 48.653x10⁶ Has.

4.3 Tipos de Bosques Existentes en la Selva Peruana

La Selva peruana (ceja de selva, selva alta y selva baja), está compuesta en mayoría por bosques productivos heterogéneos cuya superficie total es aproximadamente de 54.82 x10⁶ Has, que representa el 69 % del área forestal del país. A continuación se dan las características de cada uno de los tipos de bosques productivos heterogéneos.

4.3.1 Bosque Aluvial Clase I

Tiene una extensión total de 3.611x10⁶ Has y están localizados principalmente en los departamentos de Loreto, Ucayali, Madre de Dios, Huánuco, Junín y Pasco.

Es el tipo de bosque que se desarrolla sobre suelosazonales, aluviales, con buen drenaje. Debido a su fácil accesibilidad, a su topografía plana y al buen vigor de sus rodales es el que ofrece mejores posibilidades de aprovechamiento forestal integral en el presente y el futuro.

Actualmente es fuente de abastecimiento de especies de alto valor comercial (extracción selectiva) y aprovechada por la agricultura migratoria, particularmente en zonas cercanas a carreteras y ríos.

En su estado climax es un bosque denso con estratos perfectamente diferenciables. El estrato superior alcanza una altura promedio comprendida entre los 35 y 40 metros. El interior del bosque (sotobosque) es relativamente limpio, permitiendo así el libre acceso dentro del bosque, excepto en lugares donde los árboles han sido talados, desarrollándose

se una agresiva vegetación comunmente llamada "purma". La curva de distribución de árboles por clases diamétricas tiene la forma de una "J" invertida ; es decir, un gran número de árboles en las clases diamétricas menores, decreciendo significativamente en las clases altas. En forma cuantitativa se tiene:

	Categorías Diamétricas (cm)			Total
	10-25	25-40	40	
Número de árboles/Ha	122	72	34	228
Volumen bruto/Ha en m ³	46	43	92	181

4.3.2 Bosque Aluvial Clase II

Su extensión es de 7.375×10^6 Has y está localizado - en su totalidad en los departamentos de Loreto, Ucayali, Madre de Dios, Puno y Huánuco. Al igual que el anterior, constituye una fuente importante de materias primas, en la actualidad se practican extracciones selectivas de especies forestales en forma indiscriminada.

A pesar de que este tipo de bosque es de menor vigor que el bosque aluvial clase I, contiene las mismas especies en abundancia y dada su mayor extensión y buena accesibilidad física, encierra un gran potencial para futuros planes de desarrollo integral

Este tipo de bosque, por encontrarse en terrazas medias y bajas puede inundarse temporalmente, lo cual puede dificultar el transporte. Sin embargo, se favorece la fauna silvestre y la composición florística no difiere mayormente del

bosque aluvial clase I.

La altura del estrato superior alcanza en promedio entre - 30 y 35 metros.

El número de árboles por categorías diamétricas se ajusta a una distribución de tipo exponencial; estos valores al igual que los correspondientes al volumen bruto por hectárea son los siguientes:

	Categorías Diamétricas (cm.)			Total
	10 - 25	25-40	40	
Número de árboles/Ha	142	61	36	239
Volumen Bruto en m ³ /Ha	36	32	74	142

4.3.3 Bosque Aluvial Clase III

Tiene una extensión total de 5.071×10^6 Has y mayormente se distribuye en los departamentos de Loreto, Ucayali, Madre de Dios, Amazonas y Puno.

Este tipo de bosque es de menor vigor que los anteriores, encontrándose en su mayoría fuertemente intervenida ya sea por la quema inevitable de la agricultura migratoria (colonos que realizan una actividad agrícola de subsistencia y que abandonan los suelos una vez empobrecidos por manejo inadecuado) o por la intensa extracción de especies valiosas. Como resultado de este manejo indiscriminado se tiene una tupida vegetación difícil de penetrar, lo que colabora junto a las inundaciones a que está sujeto que, en términos generales haya sido poco estudiado a través de inventarios forestales.

El número de árboles y el volumen promedio por hectárea es el siguiente:

	Categorías Diamétricas (cm)			
	10-25	25-40	40	
Número de árboles/Ha	150	39	31	220
Volumen promedio m ³ /Ha	-	-	-	69.1

4.3.4 Bosque de Colinas Clase I

Su extensión total es de 12.754×10^6 Has y se distribuye entre los departamentos de Loreto, Ucayali, Madre de Dios, Huánuco, Pasco, Puno, San Martín y Junín.

Estos bosques se desarrollan sobre terrenos ondulados de pendientes moderadas, sobre suelos zonales e interzonales. La vegetación es por lo general vigorosa pero va decreciendo ligeramente cuando las condiciones climáticas son extremas (abundante precipitación). Se le describe como un bosque de buen vigor y de mayor densidad que el bosque aluvial clase I

Presenta dos estratos claramente diferenciados con una vegetación baja comparativamente abierta, que posibilita el fácil desplazamiento interno.

Por sus características mencionadas, este tipo de bosque posee un gran valor potencial por lo que se viene realizando una extracción forestal del tipo selectiva; sin embargo, su gran extensión y su topografía ondulada han restringido estas operaciones.

El número de árboles y el volumen bruto por hectárea de a-

cuerto a las categorías diamétricas es el siguiente:

	Categorías Diamétricas (cm)			Total
	10-25	25-40	40	
Número de árboles/Ha	144	80	40	264
Volumen bruto m^3 /Ha	56	53	108	217

4.3.5 Bosque de Colinas Clase II

Tiene una extensión total de 16.169×10^6 Has , se localiza mayormente en los departamentos de Loreto, Ucayali, Madre de Dios y, en menor proporción en los departamentos de Amazonas , San Martín, Cusco, Puno, Huánuco, Pasco y Junín. Su composición florística es similar al tipo de bosque anterior , sus características topográficas lo hacen mas difícil el acceso y aprovechamiento forestal ; en la actualidad está siendo explotado con poca intensidad relativamente .

Presenta la siguiente distribución de árboles por categorías diamétricas.

	Categorías Diamétricas (cm)			Total
	10-25	25-40	40	
Número de árboles/Ha	161	80	40	281
Volumen bruto m^3 /Ha	50		114	212

4.3.6 Bosque de Colinas Clase III

Su extensión total es de 9.841×10^6 Has y al igual -

que el anterior se encuentra en la selva Alta y la Selva - Baja en los departamentos de Loreto ,Ucayali, Madre de Dios Amazonas, San Martín ,Cusco, Puno, Huánuco, Pasco y Junín.

Este tipo de bosque está prácticamente en el límite entre el bosque productivo y el de protección ;la distribución o abundancia de especies varía ligeramente con relación a la clase II .

Algunas áreas de colinas clase III no tienen acceso debido al factor topográfico, sin embargo hay otras áreas que se encuentran adyacentes a zonas pobladas que tienen vías de comunicación.

La distribución de árboles es la siguiente:

	Categorías Diamétricas (cm)			Total
	10-25	25-40	40	
Número de árboles/ha	162	81	38	281
Volumen bruto m ³ /Ha	51	47	80	178

Del análisis anterior se observa que en la actualidad parte de estos bosques están siendo intervenidos o deforestados en forma indiscriminada tanto para fines agropecuarios como para la industria de la madera ,pues la no existencia de ninguna restricción técnica, y/o-legal permite que esta situación siga creciendo a un ritmo preocupante. Según recientes evaluaciones en la Selva peruana, la tasa de deforestación alcanza en promedio a unas 200,000 hectáreas por año, ubicadas más en la Ceja de Selva y Selva Alta.

Teniendo en consideración este último hecho es que, se ha realizado la selección de áreas con posibilidades de utilizar la biomasa forestal para fines energéticos de acuerdo principalmente, a su potencialidad y exclusividad de recurso.

4.4 Especies y Tipos de Maderas

Se estima que en la Selva peruana existen más de dos mil ochocientas especies madereras forestales con diversas características de crecimiento y variación en sus propiedades físicas, químicas.

Del total estimado a la actualidad solamente una parte han sido registradas; el cuadro (4-1) muestra las principales especies forestales de la Selva Baja hasta ahora conocidas. En función de las propiedades de las diferentes especies madereras, estas, pueden ser utilizadas directamente para fines energéticos o para la industria procesadora (muebles, parquet, etc).

En este sentido, las especies madereras conocidas han sido clasificadas en tipos de madera de acuerdo a su densidad, en maderas blandas, maderas semiduras y maderas duras.

4.4.1 Maderas Blandas

Su densidad varía entre 310 y 400 Kg/m³ y en la Selva peruana existen en un porcentaje de 18 a 30 % por hectárea. A manera de ejemplo entre estas especies se pueden citar a las siguientes: Huamansamana, Yura Caspi, Masupa, Lupuna, Ubilla, etc.

4.4.2 Maderas Semiduras

Son aquellas cuya densidad varía en promedio aproximado entre 400 a 600 Kg/m³ y existen en un porcentaje de 35-45 % por hectárea .

Este tipo de especies son conocidas también como maderas comerciales, tales como por ejemplo el Ishpingo ,Huimba,Quinal ,Pashaco Negro,Canela Moena,Cedro,Caoba,etc .

4.4.3 Maderas Duras

Aquellas cuya densidad es mayor de 600 Kg/m³ y existen en un porcentaje entre el 30 a 45 % por hectárea. Entre este tipo de especies se tienen :Huasamayo,Sjunta ,Copaiba,Caspi,Chimicua,Quinilla,etc .

Con la evaluación cuantitativa y cualitativa del potencial biomásico existente en la Selva Baja, no cabe duda que la actual disponibilidad de biomasa leñosa es mas que suficiente para satisfacer cualquier demanda de energía, mucho mas a los niveles y condiciones requeridas por los pueblos de esta región. Debe considerarse también que dentro la explotación energética de la biomasa forestal, el presente estudio plantea la protección, regeneración y reforestación del bosque, como base fundamental

CUADRO (4-1)

PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES DE LA SELVA BAJA

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
Acero caspi	<u>Klugiodendron</u> sp.	RUBIACEAE
Achiote caspi	<u>Bixa platicarpa</u>	BIXACEAE
Achuni sanango	<u>Rauwolfia</u> sp.	APOCYNACEAE
Ajos quiro	<u>Gallesia</u> sp.	PHYTOLACACEAE
Almendro	<u>Caryocar</u> sp.	CARYOCARACEAE
Amasisa	<u>Erythrina</u> sp.	PAPILIONACEAE
Anonilla	<u>Annona</u> sp.	ANNONACEAE
Añayo caspi	<u>Cordia</u> sp.	BORRAGINACEAE
Apacharama	<u>Licania</u> sp.	ROSACEAE
Arbol del pan	<u>Artocarpus comunis</u>	MORACEAE
Atadijo	<u>Trema micrantha</u>	ULMACEAE
Ayahuma	<u>Couropita peruviana</u>	LECYTHIDACEAE
Azúcar huayo	<u>Hymenaea</u> sp.	CAESALPINACEAE
Barbasco caspi	<u>Lonchocarpus</u> sp.	PAPILIONACEAE
Bellaco caspi	<u>Himantus</u> sp.	APOCYNACEAE
Bolaina	<u>Guazuma crinita</u>	STERCULIACEAE
Bolaina de altura	<u>Mollia</u> sp.	TILIACEAE
Bolaquiro	<u>Schinopsis</u> sp.	ANACARDIACEAE
Cacahuillo	<u>Herrania</u> sp.	STERCULIACEAE
Cacao de monte	<u>Theobroma</u> sp.	STERCULIACEAE
Cachimbo	<u>Cariniana</u> sp.	LECYTHIDACEAE
Caimitillo	<u>Pouteria</u> sp.	SAPOTACEAE
Caimito	<u>Chrysophyllum</u> sp.	SAPOTACEAE
Camu camu	<u>Myrciaria</u> sp.	MYRTACEAE
Canilla de vieja	<u>Leonia</u> sp.	VIOLACEAE
Caoba	<u>Swietenia macrophylla</u>	MELIACEAE
Capirona	<u>Callycophyllum</u> sp.	RUBIACEAE
Capinuri	<u>Ficus</u> sp.	MORACEAE

Continúa...

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
Caraña	<u>Dacroydes</u> sp.	BURSERACEAE
Cashillo	<u>Anacardium</u> sp.	ANACARDIACEAE
Catahua	<u>Hura crepitans</u>	EUPHORBIACEAE
Caucho	<u>Hevea</u> sp.	EUPHORBIACEAE
Caucho masha	<u>Sapium</u> sp.	EUPHORBIACEAE
Caupurí	<u>Virola</u> sp.	MYRISTICACEAE
Cedro	<u>Cedrela</u> sp.	MELIACEAE
Cedro blanco	<u>Cedrela</u> sp.	MELIACEAE
Cetico	<u>Cecropia</u> sp.	MORACEAE
Ciruella	<u>Cupania</u> sp.	SAPINDACEAE
Copaiba	<u>Copaifera</u> sp.	CAESALPINACEAE
Copal	<u>Protium</u> sp.	BURSERACEAE
Charichuelo	<u>Rhedia</u> sp.	GUTTIFERAE
Chimicua	<u>Perebea</u> sp.	MORACEAE
Chuchuhuasi	<u>Heisteria</u> sp.	OLACACEAE
Chontaquiro	<u>Diplothrophis</u> sp.	PAPILIONACEAE
Estoraque	<u>Myroxylon balsamun</u>	PAPILIONACEAE
Gallo cresta	<u>Erythryna</u> sp.	PAPILIONACEAE
Guacamayo caspi	<u>Sickingia</u> sp.	RUBIACEAE
Guayaba de monte	<u>Psidium</u> sp.	MIRTACEAE
Hualaja	<u>xanthoxylum</u> sp.	RUTACEAE
Huamanzamana	<u>Jacaranda copaia</u>	BIGNONIACEAE
Huangana casha	<u>Sloanea</u> sp.	TILIACEAE
Huarmi huarmi	<u>Sterculia</u> sp.	STERCULIACEAE
Huayruro	<u>Ormosia</u> sp.	PAPILIONACEAE
Huímba	<u>Ceiba</u> sp.	BOMBACACEAE
Huíra caspi	<u>Didimopanax</u> sp.	ARALIACEAE
Huito	<u>Genipa americana</u>	RUBIACEAE
Inga	<u>Inga</u> sp.	MIMOSACEAE
Ishango	<u>Urera</u> sp.	URTICACEAE
Ishpingo	<u>Amburana cearensis</u>	PAPILIONACEAE
Isula micuna	<u>Siparouna</u> sp.	MONIMIACEAE
Itauba	<u>Mezilaurus</u> sp.	LAURACEAE

Continúa

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
Lagarto caspi	<u>Calophyllum brasiliensi</u>	GUTTIFERAE
Leche caspi	<u>Couma</u> sp.	APOCYNACEAE
Lupuna	<u>Chorisia</u> sp.	BOMBACACEAE
Lupuna colorada	<u>Cavanillesia</u> sp.	BOMBACACEAE
Macambillo	<u>Theobroma</u> sp.	STERCULIACEAE
Macambo	<u>Theobroma subincanum</u>	STERCULIACEAE
Machete vaina	<u>Bauhinia</u> sp.	CAESALPINIACEAE
Machimango	<u>Eschweillera</u> sp.	LECYTHIDACEAE
Machin caspi	<u>Matisia</u> sp.	BOMBACACEAE
Machin zapote	<u>Matisia</u> sp.	BOMBACACEAE
Manchinga	<u>Brosimum</u> sp.	MORACEAE
Maquisapa ñaccha	<u>Apeiba</u> sp.	TILIACEAE
Mari mari	<u>Esterculia</u> sp.	STERCULIACEAE
Marupa	<u>Simarouba amara</u>	SIMAROUBACEAE
Mashonaste	<u>Clarisia racemosa</u>	MORACEAE
Mashonaste colorado	<u>Clarisia</u> sp.	MORACEAE
Matapalo	<u>Clusia</u> sp.	GUTTIFERAE
Metahuayo	<u>Loretoa</u> sp.	RUBIACEAE
Moena amarilla	<u>Nectandra</u> sp.	LAURACEAE
Nina caspi	<u>Capparis</u> sp.	CAPPARIDACEAE
Oje	<u>Ficus</u> sp.	MORACEAE
Ocha baja	<u>Matisia</u> sp.	BOMBACACEAE
Palillo	<u>Poraqueiba</u> sp.	MYRTACEAE
Palisangre	<u>Pterocarpus</u> sp.	PAPILIONACEAE
Palo hueco	<u>Chirarrhis</u> sp.	RUBIACEAE
Palo pino	<u>Alseis peruviana</u>	RUBIACEAE
Palo santo	<u>Bursera</u> sp.	BURSERACEAE
Paloma micuna	<u>Alchornia</u> sp.	EUPHORBIACEAE
Papaya de monte	<u>Jacaratia digitata</u>	CARICACEAE
Parinari	<u>Couepia</u> sp.	ROSACEAE
Pashaco	<u>Schizolobium</u> sp.	CAESALPINACEAE
Paujil ruo	<u>Pterygota</u> sp.	STERCULIACEAE

Continúa

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
Paujil ruro	<u>Pterygota</u> sp.	STERCULIACEAE
Pisho	<u>Crudia</u> sp.	CAESALPINACEAE
Pshirina	<u>Visnia</u> sp.	GUTTIFERAE
Pisho caspi	<u>Crudia</u> sp.	CAESALPINACEAE
Pucacuro caspi	<u>Cordia</u> sp.	BORAGINACEAE
Pumaquiro	<u>Aspidosperma macrocarpon</u>	APOCYNACEAE
Punga	<u>Bombax</u> sp.	BOMBACACEAE
Quillobordon	<u>Aspidosperma vargasii</u>	APOCYNACEAE
Quillo huayo	<u>Eugenia</u> sp.	MYRTACEAE
Quinilla	<u>Manilkara</u> sp.	SAPOTACEAE
Remo caspi	<u>Aspidosperma</u> sp.	APOCYNACEAE
Requia	<u>Guarea</u> sp.	MELIACEAE
Requia de altura	<u>Guarea</u> sp.	MELIACEAE
Sacha mango	<u>Grias neubertii</u>	LECYTHIDACEAE
Sacha uvilla	<u>Coussapoa</u> sp.	MORACEAE
Sapote	<u>Matisia cordata</u>	BOMBACACEAE
Sapotillo	<u>Matisia</u> sp.	BOMBACACEAE
Shamoja	<u>Macrocnemum</u> sp.	RUBIACEAE
Shapana	<u>Terminalia</u> sp.	COMBRETACEAE
Shihuahuaco	<u>Dipteryx</u> sp.	PAPILIONACEAE
Shimbillo	<u>Inga</u> sp.	MIMOSACEAE
Shiringa	<u>Hevea</u> sp.	EUPHORBIACEAE
Tahuari	<u>Tabebuia</u> sp.	BIGNONIACEAE
Tamamuri	<u>Ogcodeia</u> sp.	MORACEAE
Tamara	<u>Capparis</u> sp.	CAPPARIDACEAE
Tangarana	<u>Triplaris</u> sp.	POLYGONACEAE
Tangarana negra	<u>Sclerolobium</u> sp.	CAESALPINACEAE
Tingana	<u>Sapindus saponaria</u>	SAPINDACEAE
Topa	<u>Ochroma lagopus</u>	BOMBACACEAE
Tornillo	<u>Cedrelinga catenaeformis</u>	MIMOSACEAE
Tortuga caspi	<u>Guatteria</u> sp.	ANNONACEAE

Continúa

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
Tushmo	<u>Chrysophyllum</u> sp.	SAPOTACEAE
Uvilla (uvilla)	<u>Pourouma</u> sp.	MORACEAE
Ubos	<u>Spondias</u> sp.	ANACARDIACEAE
Uchumuyaca	<u>Trichilia</u> sp.	MELIACEAE
Uchusanango	<u>Rawolfia</u> sp.	APOCYNACEAE
Utacuro	<u>Sclerolobium</u> sp.	CAESALPINIACEAE
Yacushpana	<u>Terminalia</u> sp.	COMBRETACEA
Yausa quiro	<u>Hellocarpus</u> sp.	TILIACEAE
Yumanoja	<u>Muntingia</u> sp.	TILIACEAE
Chope	<u>Grias</u> sp.	LECYTHIDACEAE
Ishtapi	<u>Jacaranda</u> sp.	BIGNONIACEAE
Cumala blanca	<u>Virola</u> sp.	MIRISTICACEAE
Cumala colorada	<u>Iriarthera</u> sp.	MIRISTICACEAE

C A P I T U L O 5

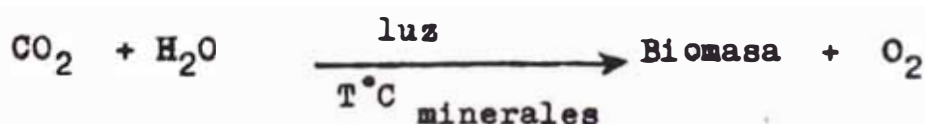
TRANSFORMACION Y APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE BIOMASA FORESTAL

5.1 Conversión Natural o Bioconversión

La Biomasa Forestal es una de las formas de almacenamiento de energía utilizable que se logra mediante la conversión natural (Biológica) de la energía solar, denominada **Fotosíntesis**

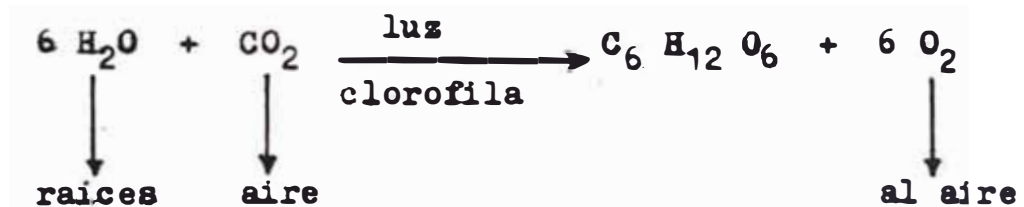
La Fotosíntesis constituye el origen del crecimiento del conjunto de vegetales y de los combustibles renovables tales como la madera ; así como también de la producción de combustibles fósiles tales como el petróleo, gas natural y carbón mineral que dadas a su lentitud de transformación (fosilización) se les considera como combustibles no renovables.

La Fotosíntesis es un proceso mediante el cual la radiación solar hace que el agua, el bióxido de carbono y los nutrientes reaccionen en las plantas verdes en presencia de la clorofila para producir oxígeno e hidratos de carbono; es decir bajo el siguiente esquema generalizado:



Gracias a la clorofila los vegetales tienen por si mismos la posibilidad de captar la energía solar, convertirla, almacenarla y realizar a partir de las sustancias con bajo potencial energético otras sustancias con alto potencial energético tales como celulosas, grasas, azúcar, etc.

Específicamente mediante la clorofila las células vegetales capturan los fotones en una reacción de la forma siguiente :



El rendimiento de conversión de la Fotosíntesis es influenciado por el grado de importancia de los factores que intervienen en la reacción, esto es:

- La luz : Indispensable hasta una cierta intensidad
- El calor : Indispensable pero limitado, si es demasiado fuerte puede frenar la asimilación.
- La clorofila : Es indispensable
- El gas carbónico: Es decir el anhídrido carbónico, es indispensable.
- El agua : Es indispensable

En términos cuantitativos el rendimiento de la conversión bioenergética de la energía solar es bastante mediocre; en forma global se encuentra entre el 0.1 a 1 % como máximo de la energía recibida según el tipo de vegetación. A pesar de este rendimiento tan pequeño, por ser la energía recibi-

da por la tierra considerable, la energía captada y puesta en reserva por la biomasa vegetal es muy elevada y equivale a varias veces la energía necesaria para toda la humanidad.

5.1.1 Capacidad Energética de la Bioconversión

La radiación solar que recibe la tierra anualmente en promedio es de 2,000 KWh por metro cuadrado lo cual equivale aproximadamente 1×10^{18} KWh/año en toda su superficie.

De esta energía, la vegetación utiliza en promedio el 0.4 % lo que representa aproximadamente 4×10^{15} KWh/año y se distribuye de la siguiente forma:

- El 50 % la toman las algas marinas ; algunas variedades de algas poseen los mayores rendimientos de conversión bioenergética , esto es 3 a 4 % mientras que el rendimiento medio para los vegetales corrientes es de 0.4 %.
- El 33 % se encuentra en los bosques, es decir aproximadamente 1.3×10^{15} KWh/año
- El 17 % le corresponde al resto de vegetación.

Si se tiene en cuenta que en la actualidad el hombre necesita para vivir 6.4×10^{13} KWh/año , bastaría con el 5 % de la energía convertida por los bosques, cubra integralmente todas las necesidades energéticas de la humanidad . Se comprueba así que la tierra no está a punto de quedarse sin energía, sino que se requieren medios para captarla o convertirla, y sobre todo almacenarla.

5.1.2 Composición de la Madera

La madera puede describirse como un compuesto de material orgánico polimérico que posee propiedades físico - químicas y mecánicas únicas .Está formada por tejidos celulosos con las paredes constituidas por celulosa mas o menos combinada con lignina, materias pécticas y distintos hidratos de carbono. En el interior de las células se encuentra una parte viva, materias albuminoides y reservas (almidones ,azúcares, grasas); y una parte muerta, residuos de materias vivas nitrogenadas , taninos, resinas, etc. .

5.1.2.1 Composición Química

La composición química real de la madera varía según la especie, la edad y el medio en que se desarrolla; así se encuentra que la variación porcentual de su contenido químico es el siguiente:

Celulosa	30 - 50 %
Lignina	22 - 40 %
Pentosanas	9 - 28 %
Mananas y Galactanas	0 - 12 %
Otros productos (Resinas y Oleoresinas, gomas, ceras, grasas, aceites, etc.)	0.2 - 20 %

La composición química de la madera influye sobre los rendimientos en ácido acético, provisto sobre todo por la celulosa y las pentosanas, y en alcohol metílico o metanol provisto por la lignina .

Específicamente el contenido de celulosa y lignina en la -

madera seca varía respectivamente 40-53 % y 19 -33 %.

Actualmente en el Perú se han realizado varios estudios - acerca de las propiedades físico-químicas de los diversos tipos de especies de madera existentes en la Selva peruana (maderas comerciales y maderas para fines energéticos). Uno de los estudios orientados a la utilización energética de las especies forestales amazónicas fue realizado - por el Ing. Manuel Uceda de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en 1,984 . Principalmente este estudio tubo por objetivo evaluar experimentalmente el poder calorífico de 20 especies forestales seleccionadas al azar, que al interrelacionarse con su composición química también obtenida experimentalmente, se logre una fórmula que permita - estimar el poder calorífico de una madera a partir de su composición química. En el cuadro (5-1) se muestra el análisis químico de las 20 especies estudiadas.

5.1.2.2 Composición Elemental

En forma general la composición elemental de la madera es similar para todas las especies, no obstante que dependiendo de la naturaleza de la especie forestal y del lugar, tienen una composición variable en elementos minerales (calcio, magnesio, sodio, potasio, silicio, fósforo, azufre, etc) los cuales se encuentran en gran mayoría en las cenizas.

En el cuadro (5-2) se muestra la composición elemental de la madera en donde se observa pequeñas variaciones dentro de las proporciones mas o menos cercanas para cada elemento; estas variaciones se deben a las diferentes especies -

de madera evaluados en cada autor.

A manera de comparación en el cuadro (5-3) se muestra la composición elemental promedio de los porcentajes basados en peso seco de algunos combustibles sólidos.

5.1.2.3 Características Físicas

Dentro la utilización de las especies forestales como combustibles energéticos, entre las propiedades físicas más importantes que los caracterizan como tal se tienen: la densidad y la humedad, de las cuales al igual que de las propiedades químicas, dependen los parámetros energéticos (poderes caloríficos..).

El cuadro (5-4) muestra las propiedades físicas de algunas especies forestales, mientras que el cuadro (5-5) muestra la densidad de algunas especies, secadas al aire, existentes en la zona de Pucallpa.

Más adelante se analizará la interrelación de las propiedades características de cada especie forestal, para la elección adecuada como combustible renovable.

5.2 Conversión Técnica de la Biomasa Forestal

Los procesos de conversión técnica (intervención directa y/o indirecta del hombre) de la energía natural biomásica en otra forma energética, tal como combustible, pueden ser :

Procesos Termoquímicos

Procesos Bioquímicos

5.2.1 Procesos Termoquímicos

De acuerdo a las características físico-químicas -

la biomasa forestal puede ser transformada en intermedios energéticos (combustibles sólidos, líquidos o gaseosos) mediante procesos donde interviene el calor.

A temperaturas elevadas los polímeros que lo conforman se descomponen en una gran variedad de sustancias volátiles de relativamente bajo peso molecular, dejando en determinadas condiciones un residuo carbonoso amorfo de elevada porosidad en comparación con el material de partida. Este proceso es conocido como pirólisis y se considera que es la etapa precursora de los métodos térmicos de conversión de la biomasa

La pirólisis (realizada en una atmósfera exenta de oxígeno) tiene lugar según un conjunto de reacciones complejas, concurrentes y consecutivas, cuyo mecanismo cinético aún se encuentra insuficientemente definido. Sin embargo se conoce que los factores que afectan enormemente dichas reacciones, y por tanto la proporción relativa de productos de la descomposición son: La temperatura, el periodo de calentamiento, la velocidad de calentamiento, la composición del medio de reacción (presencia de oxígeno, gases reductores, catalizadores) y la naturaleza físico-química del sustrato.

La reacción global puede ser dividida en reacciones primarias y secundarias según como se muestra en la figura(5-1); esto es, consiste en agrupar los productos de la reacción en tres grupos: gases mas volátiles, alquitranes y un residuo carbonoso. Las reacciones primarias y por lo tanto comparativas, conducen a la formación de los tres tipos de

productos (reacciones 1,2 y 3), en tanto que los alquitranes formados, según la reacción 2, se descomponen a su vez según las reacciones paralelas 4 y 5 (reacciones secundarias. Teniendo en cuenta que se trata de reacciones irreversibles, se pueden visualizar dos rutas bien diferenciadas; una que conduce a la formación de combustibles volátiles y la otra a la formación de un residuo carbonoso. Como estos dos caminos compiten entre sí por el mismo sustrato inicial, uno podría predominar a expensas del otro, según las condiciones prevalecientes en el medio de reacción. ---

De acuerdo a las condiciones térmicas y la composición del medio de reacción principalmente, para propósitos energéticos estas reacciones pueden conducir a los siguientes procesos termoquímicos conocidos como: Carbonización, Combustión Directa, Gasificación y Licuefacción (Hidrogenación) de la biomasa forestal.

5.2.1.1 Carbonización

Industrialmente este proceso es conocido como carbonización, destilación seca o destilación destructiva de la madera .

Para este proceso , un calentamiento lento (menor de 100 °C por minuto) y a temperaturas relativamente bajas (300 a 400 °C) se favorece la formación de carbón. A temperaturas un poco mas elevadas (500 - 600 °C) la evidencia experimental muestra una mayor proporción de alquitranes. Estas condiciones están asociadas directamente con la conversión de grandes trozos de biomasa, donde precisamente

el objetivo fundamental es la obtención de carbón vegetal, con o sin recuperación de los condensables y gases.

En este proceso los reactores industriales operan a temperaturas que nunca sobrepasan los 600 °C, puesto que un aumento ulterior de la misma no mejora el rendimiento en carbón vegetal, ni se justifica un aumento en el consumo de energía en pos de una mejor calidad en el producto terminado.

El balance de la carbonización de la madera prevee en las mejores condiciones (leña seca), con el siguiente porcentaje :

Carbón	33.7 %
Jugos piroleñosos	48.8 %
Gases	17.5 %

Comparativamente con la biomasa originaria el carbón de madera, posee una mayor concentración energética cuyo poder calorífico inferior promedio alcanza 7,500 Kcal/Kg.

5.2.1.2 Combustión Directa

La presencia de oxígeno molecular en el medio de reacción produce la oxidación de los gases y volátiles, mientras que el residuo carbonoso es gasificado, es decir - convertido a productos gaseosos combustibles que posteriormente son oxidados con los anteriores. Esquemáticamente se muestra en la figura (5-2), el modelo para la combustión de la madera.

Si la cantidad relativa de O_2 que ingresa al medio de reacción es mayor o igual que la cantidad estequiométrica requerida por la madera, los productos finales del proceso -

son, al menos teóricamente, CO_2 y H_2O . Esta transformación altamente exotérmica (liberación de energía) se denomina combustión directa y está asociada normalmente con la generación de vapor de agua que puede ser utilizada para procesos industriales (secado, etc) y/o generación de energía eléctrica. En la actualidad esta forma de utilización surge como una gran alternativa energética de la biomasa forestal en el rango de 30-500 KW

Dado que la velocidad del proceso global es controlada por el fenómeno de transferencia de calor hacia las partículas de combustible, el tamaño de las mismas, como se ha visto anteriormente, es un factor importante que afecta directamente su capacidad de generar materia volátil. Cuanto más pequeñas sean las partículas, más rápidamente serán generados los volátiles. Por el contrario, grandes piezas de madera, las cuales presentan una relación mucho menor entre la superficie externa y su volumen tienden a aislar sus partes internas, por lo que es requerido un mayor tiempo de residencia en el ambiente reactor para que las mismas alcancen la temperatura de pirólisis. Por otro lado el contenido de humedad del combustible sólido es quizás el factor que más afecta el balance térmico del proceso, pues una excesiva cantidad de agua puede llegar a provocar el impedimento de la combustión.

Estos aspectos conllevan a diseños de cámaras de combustión de diferentes tipos, pero con el único propósito de mejorar la combustión. Una buena combustión se logra cuando se alcanza las condiciones de turbulencia apropiadas para un co

recto mezclado del aire con el combustible, se alcanza la temperatura de ignición de los volátiles y, el tiempo de residencia necesario para la oxidación completa de los mismos.

La Turbulencia . En los combustibles líquidos y gaseosos se obtiene fácilmente mediante la atomización, mientras que en los combustibles sólidos se mejora dicha turbulencia cuando reciben previamente un molido o un buen fraccionamiento tal como, el carbón pulverizado, el aserrín, los chips, etc.

La Temperatura. Es de singular importancia en la combustión, pues si la temperatura es baja no se produce la combustión y si esta es muy elevada puede alcanzarse a la fusión de las cenizas. Cada combustible, cuando se le combustiona con aire, tiene una temperatura denominada de inflamación y es la menor temperatura en que más calor es generado en la reacción del que es perdido en el medio ambiente, logrando así la combustión autosostenida.

En la transmisión de calor, la temperatura es un parámetro de singular importancia sobre todo en el dimensionamiento de la cámara de combustión y de la zona de convección de una caldera.

El Tiempo. Referido a la duración de la combustión la cual se lleva a cabo en el hogar u horno, donde se inicia y se completa la combustión.

Una partícula de combustible alcanza su total combustión si permanece el tiempo suficiente en contacto con el oxígeno, el que le permitirá completar la combustión; esto es, que todos sus elementos combustibles (carbono, hidrógeno, azufre

,etc.) se transformen en gases de combustión.

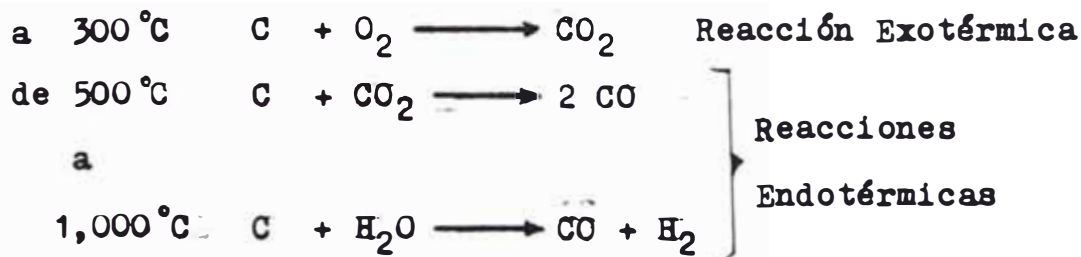
5.2.1.3 Gasificación

Cuando la cantidad relativa de O_2 que ingresa al medio de reacción es inferior a la estequiométrica, los productos resultantes de la transformación global no serán exclusivamente CO_2 y H_2O , por el contrario, los mismos se caracterizarán por su elevado contenido de "no quemados" (combustión incompleta), es decir, H_2 , CO y CH_4 . A este proceso se le conoce tradicionalmente como gasificación, en el cual se trata precisamente de maximizar la conversión del carbono e hidrógeno en CO y H_2 , comúnmente denominado al conjunto de estos dos gases, gas productor o gas pobre.

La obtención del gas pobre para propósitos industriales o generación de energía motriz, se logra cuando se calienta la biomasa (previamente fraccionada y secada adecuadamente) en un ambiente adecuado denominado gasificador o gasógeno, a una temperatura cercana a los $300^\circ C$. Por combustión de una parte de esta (combustión parcial), se produce una reacción exotérmica que permite obtener gases condensables, no condensables, jugos piroleñosos y alquitrán. Estos últimos productos, que se obtienen al calentar la madera, pueden ser quemados a una temperatura de 900 a $1,000^\circ C$ para dar una mezcla de CO , CO_2 , H_2 , vapor de agua y nitrógeno; este último cuando se utiliza el aire como agente oxidante.

El CO_2 puede ser eliminado con un lavado al agua, quedando solo la mezcla $CO + H_2$, que es el gas pobre de madera.

En resumen se dan las siguientes reacciones a las correspondientes temperaturas :



5.2.1.4 Licuefacción

La reacción de la madera con gas pobre ($CO + H_2$) en presencia de un catalizador alcalino en medio acuoso, conduce a la formación de hidrocarburos líquidos pesados. La clave de la transformación parecería ser la ruptura y remoción de átomos de oxígeno de la estructura molecular de la madera. Las reacciones involucradas son muy complejas y el mecanismo aún tiene que ser dilucidado. El proceso requiere de condiciones drásticas, es decir elevadas presiones (mayores de 70 bars), temperaturas de 300 a 450 °C y partículas finamente divididas. Este proceso se denomina Licuefacción Directa.

A pesar de que en el laboratorio se han obtenido resultados muy prometedores (aceite combustible con poder calorífico del orden de 7,900 Kcal/Kg), aún son necesarios diversos estudios experimentales a fin de determinar la influencia de los siguientes parámetros: especies forestales, tipo de catalizador y su recuperabilidad, solventes, combinaciones óptimas de presión, temperatura, velocidad de calentamiento, tiempo de reacción y enfriamiento y efecto de la agitación.

De los procesos anteriormente analizados, el proceso de licuefacción aún se encuentra en etapa de investigación en laboratorio y planta piloto, no previéndose en el corto-

plazo su implementación a nivel industrial; en tanto que, - los procesos de carbonización, combustión directa y gasificación son ampliamente conocidos y las tecnologías, con grado de complejidad de acuerdo a la capacidad del sistema, están realmente disponibles.

En los últimos años se ha registrado un creciente interés por la utilización de la biomasa forestal en la generación de energía final en el rango de pequeña a mediana potencia (30 a 500 KW), ya sea mediante la generación de vapor de agua y su posterior expansión en máquinas de vapor y/o turbinas de vapor, o la generación de gas pobre y su posterior uso como combustible en motores de combustión interna.

5.2.2 Procesos Bioquímicos

Dentro de los procesos bioquímicos de obtención de combustibles a partir de la biomasa se encuentra la fermentación, que consiste en la descomposición de las materias orgánicas producidas debido a la acción de micro-organismos .

La mayor parte de los fenómenos celulares son catalizados por proteínas complejas y especializadas (enzimas). El metabolismo bacteriano que tiene un rol importante en la mayor parte de las fermentaciones, depende de enzimas apropiadas; la reacción catalizada tiene el siguiente esquema:



Donde el sustrato es la materia vegetal o el desecho que - sirve de apoyo para la fermentación. Los micro-organismos se encuentran a veces presentes en el sustrato, en otros ca-

En algunos casos se procede a una siembra por ejemplo de levaduras en ciertas fermentaciones alcohólicas.

Existen dos procesos de fermentación : Fermentación anaerobia o metanogénica y la fermentación alcohólica.

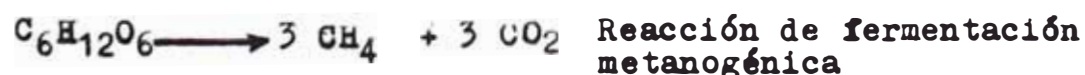
5.2.2.1 Fermentación Anaerobia

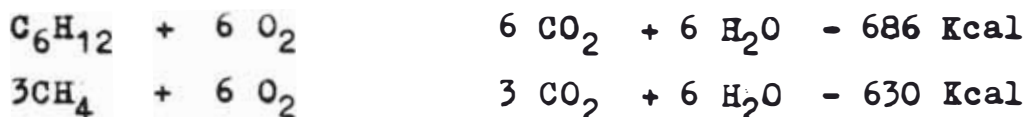
Denominada también digestión anaerobia o anaeróbica que consiste en la conversión de la materia orgánica (biomasa vegetal y/o animal) por medio de bacterias que actúan en un medio cerrado (digestor o biodigestor) exento de aire, en gas metano, CO_2 , CO entre otros, y un residuo líquido-sólido de fertilizantes. Además en el biodigestor se debe acondicionar los niveles óptimos de humedad, temperatura, acidez , nutrientes y la inoculación, cuyo proceso de fermentación se realiza en tres etapas:

En la primera etapa se produce la hidrólisis de las complejas moléculas orgánicas por la acción enzimática de bacterias facultativas hasta la solubilización. En la segunda, llamada la acidogénesis, los compuestos simples solubles formados son transformados por un mecanismo de oxidoreducción catalizada por bacterias facultativas, en ácidos simples de cadena corta (ácido fórmico, acético, propiónico, etc)

En la tercera etapa, los ácidos orgánicos simples son descompuestos en CH_4 y CO_2 por acción de bacterias metanogénicas estrictamente anaerobias.

Esta formación de metano solo degrada muy debilmente la energía , tal como se muestra en el esquema siguiente, para el caso típico de la glucosa como sustrato de fermentación:





$$\frac{\text{Energía liberable por la combustión de metano}}{\text{Energía liberable por la combustión de glucosa}} = \frac{630}{686} = 0.92$$

El caso de la glucosa muestra la eficiencia de la fermentación metanogénica, la cual usa poca energía (8%) y restituye casi la totalidad (92%) de la energía contenida en el sustrato.

La evolución y eficiencia del proceso global depende de diversos factores tales como la temperatura (rango mesofílico: 15-40°C y rango termofílico: 40-60°C), el pH (7-7.2), la ausencia de oxígeno (hermeticidad del digestor), la relación C/N en la materia prima, así como parámetros de operación tales como flujo, % sólidos totales y tiempo de residencia entre otros.

La composición del biogas es la siguiente:

Metano (CH ₄)	55 - 56 %
Dióxido de carbono (CO ₂)	34 - 45 %
Nitrógeno (N ₂)	0 - 3
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	0 - 1

En el campo de la aplicación, la utilización del biogas puede cubrir demandas de energía final a nivel doméstico y semi-industrial: cocción de alimentos, iluminación (mediante lámparas de gas), calefacción, refrigeración, accionamiento de motores de combustión interna de baja capacidad para bombeo hidráulico y generación de electricidad. El cuadro (5-6) muestra el consumo de biogas para diferentes usos.

En el Perú se tiene gran experiencia en la construcción de biodigestores para uso doméstico, principalmente para la cocción e iluminación. El ITINTEC y la Universidad Nacional Técnica de Cajamarca, vienen difundiendo esta tecnología desde 1980, principalmente en las zonas de la sierra, utilizando biodigestores de tamaño familiar de diseños chino, OLADE-Guatemala (Batch) e hindú, los cuales producen de 2 a 6 m³ de biogas por día .

Respecto a la generación de potencia, si bien en la Selva Baja existe abundante y variados recursos biomásicos, la disponibilidad de biogas para alimentar una planta eléctrica de la magnitud requerida por el lugar en estudio (160 KW), es realmente grande; por consiguiente el tamaño y costo de las baterías de biodigestores serán elevados. Además si se considera que la capacidad energética del biogas es comparativamente bajo (promedio de 4,770 Kcal/m³) al igual que su rendimiento de conversión; entonces, para este nivel de demanda eléctrica queda limitada esta alternativa frente a los sistemas de combustión directa y gasificación.

5.2.2.2 Fermentación Alcohólica

Consiste en convertir la biomasa en alcohol por medio de levaduras. La acción de levaduras específicas los azúcares simples se transforman a etanol, siendo la reacción:



El ataque de las levaduras de alcohol, que son hongos unicelulares, es más o menos eficaz según el producto de ori-

gen (sustrato)

- Las materias primas azucaradas se transforman facilmente
- Las materias primas amilaceas (constituidas en gran parte por almidón) exigen un tratamiento un poco más complejo.
- Las materias primas celulósicas o lignocelulósicas deben ser previamente hidrolizadas para convertir la celulosa en azúcar fermentable .

Respecto a la producción de etanol a partir de la madera y residuos celulósicos es todavía un proceso no rentable, pero, dada la existencia de recurso y el avance tecnológico de la hidrólisis enzimática de la madera, puede en el tiempo pasar a ser una tecnología económicamente viable.

El proceso de hidrólisis de la madera puede ser ácido o enzimático. El primero es de mayor difusión aunque los rendimientos no son espectaculares. El segundo combinado con un pretratamiento térmico costoso es objeto de gran atención mundial y se considera que con los avances de la biotecnología y microbiología, el proceso enzimático se impondrá en el futuro.

En la figura (5-3) se presenta un esquema de los principales productos de la hidrólisis ácida de la madera. En el cuadro (5-7) se presenta la obtención de alcohol y coque utilizando el proceso Scholler-Madison-Soviético de hidrólisis de algunas maderas y residuos agrícolas, realizados en el Brasil utilizando ácido sulfúrico diluido. En cuanto a sus costos, una comparación entre los diversos estudios sobre inversiones, compilados por CETEC (Belo Horizonte, MG Brasil), demuestra que a pesar de la inclusión de unidades

auxiliares para recuperación de subproductos (furfurol o coque a partir de lignina), la inversión necesaria para la instalación de una planta de producción de 100,000 litros por día de etanol a partir de madera se sitúa entre 20 a 30 millones de dólares, que comparada a una planta de alcohol de caña de azúcar a la misma capacidad, resulta ser de 2 a 3 veces mayor.

En cuanto a la utilización del etanol de madera se adecúa a la parte automotriz (vehículos ligeros) y grupos eléctricos, con motores de ciclo Otto. La capacidad de generación eléctrica, con el uso de etanol, mediante este tipo de motores (gasolíneos) se verá limitada ya que por lo general son de pequeñas potencias comparadas con los motores diesel, en los cuales la sustitución con etanol es poco alentadora, debido a las significativas diferencias en sus propiedades físicas y químicas con respecto al combustible diesel.

5.2.3 La Combustión Directa de la Leña para la Generación de Potencia

Todos los procesos de conversión técnica de la biomasa forestal anteriormente descritos pueden ser utilizados para su transformación en combustibles y posterior uso en la generación de potencia, la diferencia entre ellos radica principalmente en la eficiencia de transformación, la tecnología existente y la economía de funcionamiento.

La combustión directa de la leña y otros residuos biomásicos, es el proceso que más se adecúa para la capacidad energética requerida; esto no solo por sus ventajas técnicas

y económicas sinó también por la tecnología ampliamente conocida, y muchos otros factores que son analizados en forma detallada en el capítulo 6.

Cuando se trata de combustibles biomásicos de origen vegetal tales como la leña, uno de los parámetros que determina las bondades energéticas de esta es su contenido de humedad. La humedad del combustible influye en el rendimiento y funcionamiento de los sistemas de transformación energética, no solo en los sistemas de combustión directa (caldero-máquina motriz) sinó también, más aún, en los sistemas de gasificación.

Específicamente, el contenido de agua en la madera (leña) influye directamente en su composición química elemental, el poder calorífico y su temperatura de combustión.

Influencia de la Humedad de la Leña en su composición elemental

Si denominamos "U" al porcentaje de humedad contenida en la leña, todos sus componentes elementales se verán afectados aproximadamente por el factor $1-U/100$ con respecto a su composición elemental en base seca. En el cuadro (5-8) se muestran los datos típicos de leña en base seca y con 40% de humedad.

Influencia de la Humedad de la leña en su poder calorífico

Poder Calorífico. Es la máxima cantidad de calor que puede obtenerse de los productos de la combustión completa de un combustible si dichos productos se enfrían hasta la tempe-

ratura original de la mezcla aire/combustible. La mayoría de los combustibles contienen hidrógeno en su estructura, - que al quemarse produce vapor de agua. Al enfriarse los productos, cierta cantidad de vapor de agua se condensa liberando calor, por lo que el poder calorífico dependerá - del vapor condensado. Cuando el poder calorífico se obtiene sin condensación del vapor de agua se denomina poder calorífico inferior (PCI) y cuando se obtiene con condensación completa se denomina poder calorífico superior (PCS).

En la madera, el poder calorífico superior comprende la totalidad de calor liberado en la combustión y el poder calorífico inferior es la misma cantidad de calor disminuido en el calor que dicho combustible utiliza para vaporizar - su propia humedad, así como también la humedad resultante - de la combustión del hidrógeno.

Las relaciones existentes entre los poderes caloríficos de la madera en base seca (PCSS y PCIS) y con porcentaje de humedad (PCSU y PCIU), dados en función del porcentaje de humedad "U" se muestran en el cuadro (5-9). En el cuadro - (5-10) - se muestra la variación de los poderes caloríficos superior e inferior, con respecto a la humedad de la madera.

Las especies madereras existentes y hasta ahora conocidas de la Selva Baja peruana, se caracterizan por tener - altos valores caloríficos comparativamente a las diferentes especies existentes en otras latitudes de la tierra. Estos resultados son productos de investigaciones realizadas en el sitio. Entre las evaluaciones se tienen:

- El cuadro (5-11) se muestra el poder calorífico superior

de 20 especies forestales de la Selva Baja evaluadas por M.Uceda (UNA), de donde se obtiene un valor promedio de las especies evaluadas de 4,801 Kcal/Kg.

- En el cuadro (5-12) se dá la evaluación de los poderes caloríficos de 16 especies forestales de Madre de Dios, cuyos valores han sido determinados para porcentajes relativamente altos de humedad.

- En el cuadro (5-13) se presenta la estimación de los poderes caloríficos superior e inferior de las 10 principales especies madereras comerciales de la zona de Pucallpa, los cuales fueron evaluados para el 40 % de contenido de humedad.

Influencia de la Humedad de la Leña en la Temperatura de Combustión

Temperatura de Combustión. Es el valor teórico de la temperatura que alcanzan los gases de combustión, cuando se quema un combustible en un ambiente (caso de combustibles sólidos, denominado horno u hogar) perfectamente aislado. El poder calorífico inferior, a diferencia del poder calorífico superior, es el único que contribuye para alcanzar esta temperatura.

Respecto al combustible madera, la temperatura de combustión es variable con su contenido de humedad y la relación en peso entre los gases productos y el combustible original. En el cuadro (5-14), se muestra la variación de dicha temperatura con respecto al porcentaje de humedad y la relación Kg de gases productos /Kg de combustible leña.

5.3 La Dendroenergía o Aprovechamiento Energético de la Biomasa Forestal

Identificado ya el gran potencial energético forestal de la Selva Baja peruana, compete analizar las formas adecuadas de su aprovechamiento como combustible (biocombustible), renovable, eficiente y benigno para con la naturaleza. En términos generales, la biomasa forestal como fuente energética incluye a todas las sustancias orgánicas de origen vegetal (biomasa vegetal), estas son:

- El recurso forestal para uso energético, es decir - la leña que viene a ser la constitución de las variedades de madera forestal pertenecientes a los bosques naturales, que no son de interés para la industria de transformación de la madera en productos comerciales procesados (muebles, parquet, etc). Cada especie energética es aprovechada como árbol en pie, incluyendo tronco, ramas, raíces y restos producto de la explotación (aserrín, astillas, etc). En la figura (5-4) se muestra la distribución de biomasa existente en un árbol.
- Los residuos y desechos procedentes de las actividades agrícolas y agro-industriales.

5.3.1 La Madera como Combustible

Para los fines de utilización energética, las especies madereras (leñas) pueden ser utilizadas, directamente como leña fraccionada o, luego de su transformación aparte en carbón vegetal.

5.3.1.1 Combustible Leña

Las especies madereras aptas para ser utilizadas como combustible directo, leña fraccionada o chipeada; deben de reunir las siguientes características:

- El poder calorífico inferior debe ser no menor de 2,700 Kcal/Kg , para un porcentaje de humedad no mayor de 40%.
- Deben ser maderas no blandas y de bajo porcentaje de humedad .
- Su crecimiento natural debe ser factible y seguro en el área del proyecto.
- Tengan una vida rápida de crecimiento hasta la edad de corte.
- La densidad por unidad de área debe ser alta en comparación con otras especies forestales.

Con el objeto de mejorar el proceso de conversión de la energía biomásica en energía calorífica dentro la generación de potencia, la alimentación de leña directamente usada a los sistemas de combustión directa o gasificación, debe ser previamente secada y fraccionada adecuadamente, bajo modalidades que se presentan más adelante. A manera de referencia en el cuadro (5-15) se presenta la influencia del tamaño del combustible leña en los componentes productos de la combustión parcial (% en volumen) para fines de gasificación de determinadas especies.

Con la finalidad de diferenciar la capacidad energética de la leña, en el cuadro (5-16) se muestra una comparación en-

tre poderes caloríficos inferiores de diferentes combustibles ,de donde se determina que para el mismo nivel de requerimiento de energía:

- 1 Kg de leña seca equivale a :
 - 0.66 Kg de Carbón Vegetal
 - 0.70 Kg de Carbón Mineral
 - 0.44 Kg de Gasolina
 - 0.44 Kg de Diesel
 - 0.45 Kg de Aceite Diesel pesado
- 1 m³ de leña seca equivale a :
 - 0.32 m³ de Gas Natural
 - 2.02 m³ de Carbón Vegetal
 - 0.52 m³ de Carbón Mineral
 - 0.30 m³ de Diesel
 - 0.35 m³ de Gasolina

De acuerdo a las evaluaciones realizadas, vistas en los cuadros anteriores, se puede concluir que la mayoría de las especies forestales hasta ahora investigadas existentes en la Selva Baja peruana, poseen altos valores energéticos y a la vez se encuentran en gran disponibilidad.

5.3.1.2 Combustible Carbón Vegetal

Todas las especies de madera existentes en los bosques son útiles para la carbonización. Las propiedades físicas y químicas del carbón vegetal dependen de la materia prima original y de las condiciones de carbonización. En cuanto a su utilización en la generación de potencia mediante combustión directa o gasificación, comparativamente

al combustible leña se tiene:

- El carbón vegetal tiene un mayor poder calorífico por unidad de peso, mientras que el combustible leña tiene un mayor poder calorífico por unidad de volumen y el rendimiento energético global es mas elevado. Este último en combustión directa es mas conveniente.
- El carbón tiene muchas pérdidas de elaboración debidas - tanto al transporte como a la necesidad de un troceado - estándar (las pérdidas de elaboración y manipulación son del 40-50% en el caso de molido y cribado mecánico y del 30-40% en el caso de molido manual y cribado mecánico) , mientras que en la leña, estas pérdidas son comparativamente inferiores
- En cuanto a la humedad, el carbón vegetal es generalmente higroscópico (tiene la propiedad de absorber prontamente la humedad de la atmósfera) ; En el caso de la leña es - más estable y su uso es adecuado cuando posee normalmente un contenido de humedad menor de 30%, que tranquilamente se consigue con secado natural en el campo.
- En cuanto a la gasificación; el carbón vegetal produce - cenizas más finas y la temperatura de gasificación es más elevada, por lo que requiere materiales de construcción - más resistentes . En el caso de la leña se produce un gas con más alquitranes y mayor contenido de cenizas.
- Respecto a la parte económica , los costos de producción de carbón incrementan el costo total de la planta.

En el cuadro (5-17) se muestra la evaluación de propiedades de 4 especies forestales de la zona de Ucayali, convertidas

en carbón vegetal.

5.3.2 Planes de manejo del recurso forestal: Métodos de reforestación, cuantificación y programa de explotación

La disponibilidad de biomasa leñosa para uso energético en el mediano y largo plazo, se verá garantizada completamente, cuando se planteen oportunos planes de manejo de los bosques naturales con acordes programas de reforestación; esto es, la adecuada protección, regeneración y reforestación que a la vez, mantendrán en equilibrio al ecosistema. Otro de los subsecuentes resultados de un buen manejo forestal será la toma de conciencia social en la explotación adecuada de la biomasa forestal (p.e el carácter renovable de la fuente) no solamente en su utilización energética, sino también en cualquier otra actividad forestal, independientemente de la ubicación y el tipo de bosque existente. A continuación se analizan los planes posibles de manejo forestal, donde se plantea la metodología técnica de reforestación, la cuantificación energética, el periodo de rotación y el programa de explotación de cada uno de estos.

5.3.2.1 Regeneración Natural

Este plan de manejo forestal, puede realizarse mediante dos métodos: método de los cuarteles y método de las fajas. Para el caso de la Selva Baja, en donde existen muchas zonas con persistente estación seca se adecúa mejor el método de fajas, debido a que en estos sitios se presentan dificultades de regeneración forestal en grandes áreas deforestadas (mayores de 50 Has.).

Metodología Técnica

- Se abre una trocha base de 20 m de ancho en el centro del bosque para el acceso al transporte.
- Perpendicular a la trocha base se delimitan fajas de 10m de ancho cuyo largo se determina de acuerdo a las características fisiográficas. Estas fajas representan la zona destinada a las actividades de tala y desmonte y se alternan con fajas de bosque no cortado de unos 30 m de ancho.
- En la faja delimitada se talarán a la altura de pecho de hombre, los árboles para fines energéticos que tengan un diámetro entre 5 y 50 cm. Mayores de este diámetro no se talarán debido a que estos árboles grandes sirven para proteger el suelo de la insolación excesiva y de la erosión superficial a la vez que permite una buena regeneración por medio de sus semillas.
- Este método se aplicará durante 10 años sobre un área de bosque adecuada. Del año 11 al 20, se talarán los árboles de la faja cerca de la primera aplicando el paso anterior y así, en forma similar se procede en el decenio 21-30 (tercera serie de fajas) y el decenio 31-40 (cuarta serie de fajas), hasta cubrir todo el área útil del bosque. La figura (5-5) muestra un esquema de este método.

Periodo de Rotación

Cubierto todo el área útil del bosque energético, en el año 41 se realizará el desmonte de la primera serie de fajas, implicando así que la duración de la rotación es de 40 años el cual es bastante prudente respecto a la protección del-

medio ambiente.

Cuantificación Energética

Para evaluar el valor energético en las dos clases de bosques de la Selva Baja (aluvial y de colinas) se considera que la densidad media de la leña es de 0.6 ton/m^3 y su PCI medio de $3,300 \text{ Kcal/Kg}$. Para la regeneración natural se tiene los siguientes valores:

- . Bosque aluvial de 25 a $35 \text{ m}^3/\text{Ha}$ de leña cuyo valor medio de $30 \text{ m}^3/\text{Ha}$,equivale a 60 Gcal/Ha .
- . Bosque de colinas de 20 a $30 \text{ m}^3/\text{Ha}$,equivale a un valor-medio de 50 Gcal/Ha .

Programa de explotación

La tala debe ser ejecutada en forma limitada respecto al área del bosque ,para evitar los riesgos de degradación ambiental producto de la deforestación progresiva. El corte debe ser selectivo,dejando los árboles mayores,aclarando - las formaciones más espesas ,o en zonas muy limitadas se - cortarían fajas de pocos metros de ancho y espaciados de 30 a 50m . Con la finalidad de proteger el suelo y facilitar - la regeneración natural de las semillas,parte de la biomasa (hojas,ramas pequeñas,etc.)se dejará en el sitio para - constituirse una capa de hojarasca.

5.3.2.2 Regeneración Natural con Enriquecimiento

Metodología Técnica

Este método consiste inicialmente en actividades de tala y desmonte por fajas (similar al caso anterior),luego se efectúan las actividades de plantación de especies forestales cuyo enriquecimiento consiste en la selección de espe-

cies indígenas o exóticas que se caractericen por tener - buenas propiedades energéticas, crecimiento y adaptabilidad en el sitio, entre otras.

Conocida el área de aprovechamiento, mediante este plan de reforestación se procede:

- Se abre una trocha-base para el acceso al transporte
- Perpendicular y a lo largo de la trocha-base se trazan - cada 20m las fajas de enriquecimiento que tendrán un ancho aproximado de 5 m.
- En la faja inicial elegida se cortará toda la vegetación que a la vez servirá para uso energético inicial, exceptuando los árboles de grandes dimensiones y los de interés industrial. Posteriormente se realiza la actividad de reforestación enriquecida a lo largo de dicha faja y a distancia de 1-2m se cavarán zanjas con dimensiones de aproximadamente 0.3x0.3x0.3m en donde se colocarán las plantas seleccionadas provenientes del vivero. Luego de 30 días se hará una evaluación y la resiembra de los faltantes .
- El mantenimiento de la plantación se realiza en el transcurso de los siguientes 3 años y consistirá en la limpieza manual (deshierbe y resiembra) y el control de plagas (hormigas, etc.) .
- Después del quinto año se procede a cortar la vegetación de la faja siguiente (segunda serie de fajas), luego se sigue el mismo proceso que para la faja inicial. En forma similar se procede para la tercera y cuarta serie de fajas , cubriendo así todo el área de bosque energético.

ver la figura (5-6).

Periodo de Rotación

Teniendo en consideración las características pedológicas y ambientales, en el año 21 se realizará el corte de la faja inicial (primera serie de fajas) ya enriquecida; esto implica que el ciclo de rotación completa será de 20 años.

Cuantificación Energética

Para la evaluación de la energía disponible se ha considerado que conservadoramente se utiliza el 70% de biomasa leñosa en pie en un ciclo de rotación de 20 años, el 30% restante (hojas y ramas pequeñas) son pérdidas aparentes que quedan en el sitio cumpliendo el rol de fertilizantes. Para el caso de la biomasa disponible enriquecida, se obtiene fijando incrementos productivos a las diferentes áreas fisiográficas que en promedio están entre 15 a 20 m³/Ha/año. La densidad y PCI se considera 0.6 ton/m³ y 3,300 Kcal/Kg respectivamente. La cuantificación energética es la siguiente:

- .Bosque aluvial de 50 a 70 m³/Ha le corresponde un valor medio de 120 Gcal/Ha.

- .Bosque de colina de 40 a 60 m³/Ha le corresponde un valor medio aproximado de 100 Gcal/Ha.

Programa de explotación

Para la tala y desmonte se procede en forma similar al método anterior. El desmonte debe ser adecuado, allí se cavarán manualmente las zanjas para la plantación de las nuevas especies enriquecidas.

La distribución de las plantas sobre la superficie considerada debe ser homogénea y durante los primeros años del -

programa de manejo se debe desarrollar obras de asistencia técnica y de experimentación para analizar el crecimiento de las especies enriquecidas.

La regeneración natural con enriquecimiento puede ser utilizada en una zona equivalente a un 5 % de la totalidad de la superficie de la Selva Baja, de donde se puede extraer anualmente el 0.9 % de la biomasa en pie, tomando así una rotación de 20 años.

5.3.2.3 Tala Rasa y Reforestación

Metodología técnica

- La superficie energética se subdivide en áreas de base - cuadrangular (cuarteles) con extensión variable según el programa; generalmente son mayores de una hectárea.
- En áreas correspondientes a las superficies programadas para la actividad de un año, se tala a ras del suelo todas las especies arbóreas existentes. Algunas especies se utilizarán eventualmente como madera para manufactura y lo demás para fines energéticos
- En el área completamente talada y desmontada se plantarán especies con propiedades altamente energéticas, tales como p.e eucaliptus sp, leucaena leucocephala (ipil, ipil), gmelina arbórea, pinus caribea, etc. La plantación mediante este método de reforestación es ya conocido en el Perú, tal es el caso p.e del proyecto Paramonga cerca de Pucallpa.

Periodo de rotación y cuantificación energética

De acuerdo a las características productivas de las espe -

cies de crecimiento rápido utilizadas, se puede lograr durante un periodo conservador de rotación de 14 años la siguiente cantidad de leña y su equivalente energético:

.Bosque aluvial de 100 a 150 m³/Ha, con equivalente energético medio de 250 Gcal/Ha.

.Bosque de colinas de 80 a 130 m³/Ha, con equivalente energético medio aproximado de 210 Gcal/Ha.

Programa de explotación

Las especies energéticas utilizadas en la plantación pueden ser indígenas o exóticas de elevadas producciones unitarias cuya distancia entre plantas es variable según la especie. En el caso de la gmelina arbórea será espaciada de 2.5-3m lo que equivale a 1330 plantas por hectárea.

Con este método se puede obtener incrementos productivos de 25 m³/Ha/año de biomasa útil en una rotación de 7 años.

Experiencias en la Selva Baja dan incrementos productivos promedios entre 25 a 35 m³/Ha/año

El plan de corte raso con reforestación se aplica mejor en áreas de foresta secundaria o en áreas degradadas por una intensa explotación agrícola del suelo .

A manera de comparación cuantitativa entre los tres planes de manejo propuestos, se muestra el cuadro (5-18).

5.3.3 Manejo de Combustibles Biomásicos adicionales

Considerando ya el aprovechamiento de los recursos forestales como combustible energético y sus técnicas de manejo para la generación de potencia; la biomasa forestal se verá más atractiva como tal, cuando se utilice adicionalmente y adecuadamente los residuos o desechos agrícolas y

agro-industriales .

De esta forma se amplía más aún, el campo de utilización de la tecnología dendrotérmica hacia los centros de progreso y desarrollo de la Selva Baja peruana (industrias madereras, aserraderos, molinos, etc.).

Los combustibles biomásicos adicionales, para ser utilizados como tal se debe tener en consideración las siguientes restricciones tecnológicas, ecológicas y económicas.

Tecnológicas

Se utilizaran solamente los residuos que ofrezcan una eficiente quema con alto poder calorífico, baja humedad, mínima cantidad de residuos no combustibles y, sean de uso compatible con la tecnología dendrotérmica (combustión directa o gasificación).

Ecológicas

Restricción en el uso masivo de los residuos ; racionamiento adecuado tanto para el uso como combustible, como para el enriquecimiento del suelo (retardar su erosión, mantenimiento de la capa de humus, aporte de nutrientes de nitrógeno, potasio, fósforo); protección de las semillas de heladas, sequías, malesas y animales depredadores ; así como también alimento de animales de crianza.

Económicas

Factibilidad económica al uso como materia prima (sustento de animales, para alimentos balanceados, o elaboración de productos), o como combustible energético teniendo en cuenta los costos de recolección, transporte, almacenamiento, protección del medio ambiente, preparación y adaptación a su uso

en las máquinas dendrotérmicas.

Entre los posibles desechos agrícolas y agroindustriales a provechables para fines energéticos, en la Selva Baja se tienen:

5.3.3.1 Desechos Agrícolas

Entre los principales se tienen: paja de arroz, desechos de maíz (tusa), yuca, yute, palma africana; que según evaluación realizada por el acuerdo CESEN-MEM, la productividad media y el poder calorífico inferior de cada desecho es el siguiente:

	Prod. media ton/Ha	PCI Kcal/Kg
Paja de arroz	2	3,800 base seca
Maíz (tusa de maíz)	2	4,300 "
Yuca (tallos y hojas)	3-5	4,600 "
Yute	2	4,500 "
Palma africana (racimos)	25	1,450-3,700

5.3.3.2 Desechos Agroindustriales

Se tienen principalmente, en la industria de la madera y en los molinos de arroz.

En la industria de la madera :

-Sobrantes del aserrío: aserrín, sobrantes del aserrado (canteneras), del canteado (costaneras) y del despunte (retazos); además otros sobrantes de menor importancia (astillas, pedazos de cortezas, etc).

-Sobrantes del parquet: aserrín, porciones de madera sólida, sobrantes del despunte y dimensionamiento, virutas y -

polvo de madera.

-Sobrantes del triplay: secciones circulares despuntadas - durante la preparación de la troza, retazos de madera laminada durante el desbobinado, aserrín, cortezas, etc.

Cuantitativamente los sobrantes totales alcanzan el 52% - del volumen total con corteza de madera que ingresa a los aserraderos.

Según datos del Ministerio de Agricultura, las cantidades - en m^3 de desechos de madera anualmente producidos en las - industrias madereras de la Selva Baja se muestran en cuadro (5-19).

Del total de desechos madereros existentes se estima que - el 65 % como mínimo, pueden ser utilizados en la producción de energía

Referente a los sobrantes de madera, la distribución porcentual del total disponible, el PCI (referido a sustancia seca) y la densidad es como sigue:

	porcentaje del 100%	PCI (s.s) Kcal/Kg	densidad Kg/m ³
Aserrín	22	4,000-4,500	170-250
Cantoneiras	18	"	200-300
Cortezas	27	"	"
Láminas irregulares	14	"	"
Despuntos, viruta, otros	19	"	"

En los molinos de arroz

La cascarilla del arroz es el principal desecho utilizable para fines energéticos; este equivale al 22 % en peso del

arróz con cáscara y tiene un PCI en base seca medio aproximado de 4,000 Kcal/Kg.

En la Selva Baja ,la producción anual de arróz cáscara en los últimos años fluctua entre 55 a 60 mil toneladas

5.3.4 Evaluación energética de la biomasa explotable como combustible

5.3.4.1 Energía de los recursos forestales

El cuadro (5-20) muestra la evaluación energética de las especies forestales explotables en los dos tipos de bosques de la Selva Baja, mediante los tres planes posibles de manejo forestal.

5.3.4.2 Energía de los combustibles biomásicos adicionales

De acuerdo a la cantidad de desechos producidos, - los más factibles de ser aprovechados energeticamente son:

- Desechos de la industria de la madera

Esta energía se evalua mediante: E_{DM}

$$E_{DM} = V \times \frac{\%D_u}{100} \times PCIS \times \frac{\%a}{100} \times D_a + \frac{\%r}{100} \times D_r \quad (\text{Gcal/Kg})$$

donde:

V :volumen total de desechos madereros (300,000 m³/a)

$\%D_u$:porcentaje de desechos madereros utilizables como combustible (65 %) .

PCIS:poder calorífico medio en base seca de los desechos madereros (4, 250 Kcal/Kg) .

$\%a$:porcentaje de aserrín (22 %)

D_a :densidad media del aserrín (210 Kg/m³)

$\%r$:porcentaje de residuos madereros restantes (78 %)

D_r : densidad media de los residuos madereros restantes
(250 Kg/m³).

Reemplazando estos valores se obtiene:

$$E_{DM} = 200,000 \text{ Gcal/a}$$

- Cascarilla de arroz

Se evalua mediante:

$$E_{CA} = Q \times \frac{\% C}{100} \times \text{PCIU} \quad (\text{Gcal/a})$$

donde

Q : cantidad media anual de arroz cáscara (55,000 ton)

%C : porcentaje de desechos:cascarilla (20%)

PCIU : poder calorífico inferior en base húmeda de la cascarilla

$$\text{PCIU} = \text{PCIS} (1 - \%H_2O/100) - 6 \%H_2O$$

PCIS : poder calorífico en base seca de la cascarilla , es aproximadamente 4,000 Kcal/Kg

% H₂O : porcentaje de agua (10 %)

Reemplazando se obtiene :

$$E_{CA} = 40,000 \text{ Gcal/a}$$

- Paja de arroz

La expresión para calcular esta energía es semejante que

E_{CA} , en datos se obtiene:

$$E_{PA} = 220,000 \text{ Gcal/a}$$

El total de esta energía obtenible alcanza a 460,000Gcal/a cuyo equivalente en barriles de petróleo combustible es de aproximadamente de 311 mil Bep . Si se considera que el costo del barril de petróleo es de 30 US\$;entonces signi -

ficará ahorrar 9'330,000 USS/a en el caso que se utilicen dichos desechos como sustituto energético.

Estos ahorros, tal como se han analizado, son perfectamente factibles y serán más atractivos a medida que se vaya introduciendo la tecnología dendrotérmica en el desarrollo agrícola, agroindustrial de esta región en estudio.

En el cuadro (5-21) se muestra en resumen la energía obtenible de los principales recursos biomásicos explotables, mínima y adecuadamente, en la Selva Baja.

5.4 La Dendroenergía como solución energética renovable en zonas marginales de la Selva Baja

5.4.1 Campo de Aplicación

Las aplicaciones de la biomasa forestal como fuente de energía son muchas, pues van desde los usos domésticos de modo tradicional, en forma de leños o como carbón, hasta la generación de energía térmica (para procesos térmicos), energía mecánica y energía eléctrica; mediante sistemas tecnificados de conversión termoquímica o bioquímica.

En la mayoría de países en desarrollo, la leña constituye la principal fuente energética para satisfacer las necesidades de cocción, sobre todo en sus sectores rurales.

En el caso de América Latina, estadísticas indican que casi el 50 % de la población rural dependen de la leña, utilizada fundamentalmente en la cocción y en una forma muy ineficaz. Tradicionalmente, la manera como se aprovecha la energía de la leña es bastante deficiente y su explotación realmente irreversible. Los rendimientos energéticos son muy bajos,

no alcanzan al 5 %; por otro lado la presión ejercida sobre las áreas boscosas indiscriminadamente, trae como consecuencia la deforestación .

La Dendroenergía surgirá como una solución energética integral de zonas marginales con abundantes recursos biomásicos forestales, cuando se plantee su explotación racional, tecnificada y con una debida planificación de la reforestación.

Entre las aplicaciones en estas zonas, se pueden hacer mediante sistemas artesanales y sistemas tecnificados.

- Sistemas artesanales

- Utilización adecuada de la leña en la cocción de alimentos, mediante cocinas a leña y estufas diseñadas apropiadamente para conseguir : mayores eficiencias térmicas , alta durabilidad, facilidad de manejo y mantenimiento ; con costos relativamente bajos . En la figura (5-7) se ilustra esquemáticamente dos de estos modelos, similares a los cuales ya han sido desarrollados e introducidos con éxito en muchos países en desarrollo
- Producción de briquetas de madera y residuos tales como p.e cascarillas de arroz, fibras de yute, cáscaras de frutas, etc. Estas briquetas pueden ser destinadas para uso doméstico así como también para insumo industrial.
- Producción de carbón vegetal para consumo doméstico e industrial.

- Sistemas Tecnificados

- Generación de energía mecánica, eléctrica y calorífica, mediante plantas dendrotérmicas de gasificación (electrogasógenos) y de combustión directa cuyo campo de --

acción puede abarcar :

- Electrificación de pueblos que dispongan de abundante recurso forestal.
- Electrificación, calor y fuerza en industrias forestales (aserraderos , industria del parquet, triplay, etc.), para iluminación, cortado, secado , etc.
- Electrificación, calor y fuerza en las actividades agrícolas y agroindustriales (plantaciones de arroz , caña de azúcar, industria del arroz, azúcar, aceite vegetal, conservas, etc).
- Electrificación de destacamentos militares ubicados en límites internacionales, correspondientes a la Selva Baja.

En la figura (5-8) se ilustra en diagrama de bloques los sistemas de transformación tecnificada de la biomasa forestal, desde las plantaciones forestales hasta la obtención de energía final (calor, vapor, fuerza mecánica, electricidad) Como un ejemplo de la explotación integral del recurso forestal, en la figura (5-9) se muestra el esquema de un complejo forestal ubicado en el noreste argentino .

5.4.2 Ventajas

Entre las ventajas que ofrece la dendroenergía como combustible renovable, en la Selva Baja peruana se tienen:

- La creación de focos de desarrollo económico-social, acordes a la naturaleza y ubicación geográfica, favoreciendo así el programa de descentralización política, así como el desarrollo integral del sector marginal ya existente .

- La disponibilidad de energía final en lugares alejados y aislados contribuye a fijar sus tasas poblacionales, evitando de esta forma las migraciones internas ,logrando entonces una mejora sustancial en las condiciones de vida ,la valorización de los productos agropecuarios regionales a través de su procesamiento o conservación,el establecimiento de pequeñas industrias locales,etc.
- Se fomenta el desarrollo social,político y cultural de las comunidades nativas de nuestro país.
- Promueve la puesta en producción de tierras marginales,= lo cual permite un uso racional del recurso suelo en el destino para el que es más apto e incorpora al circuito económico-productivo a más sectores geográficos y poblacionales.
- El caracter renovable y autóctono (por ende barato)de este combustible ,contribuye a disminuir el consumo de combustibles derivados del petróleo en estos sectores ;liberando así saldos exportables de estos .
- La abundancia y cercanía del combustible forestal hacia los centros posibles de consumo hacen que sus costos de utilización sean muy reducidos.
- Su explotación planificada trae consigo la apertura de nuevas fuentes de trabajo.
- La toma de conciencia en la protección de ciertos tipos de bosques y la explotación adecuada de otros ,eliminando así la deforestación indiscriminada.

Entre las ventajas que ofrece el bosque energético debidamente planificado,se tienen :

- Se logra el crecimiento de un grán número de variedades de árboles con mayor concentración y amalgamiento respecto a la superficie de terreno.
- Cobertura total de suelos, evitando la erosión o deforestación natural
- La presencia de unas variedades forestales ayuda al desarrollo de otras , es decir se logra un balance ecológico natural .
- Permite combinar el uso de variedades de árboles de diferentes edades hasta alcanzar la edad de corte.
- Permite desarrollar una industria extractiva selectiva , optimizada y de mejor rendimiento.

CUADRO (5-1)

Análisis Químico de Veinte especies forestales
existentes en la Selva Baja

Compuestos Químicos (%)

Especie	Cenizas	Extrac- tivos en alcohol benceno	Extrac- tivos en agua	Ligni- na	Celu- losa	Pento- sanos
Apacharama	2.75	1.41	3.15	29.22	51.88	12.14
Azufre Caspi	0.61	6.13	2.14	24.24	51.69	16.96
Bellaco Caspi	0.51	3.18	5.27	24.85	50.88	15.07
Carahuasca	0.78	2.26	2.83	28.46	50.62	11.34
Caupuri	0.54	2.99	3.03	28.44	49.52	13.68
Copal	1.04	3.84	2.19	24.18	48.22	16.68
Cumala Blanca	0.44	3.49	2.77	24.74	50.25	14.00
Chimicua	2.83	3.02	2.98	31.19	48.17	14.71
Huamansamana	0.67	2.12	3.64	28.72	52.98	11.78
Isma moena	0.25	2.52	3.72	30.27	51.89	13.87
Jarabe huayo	0.72	3.72	6.25	22.41	48.24	15.44
Machimango						
colorado	1.02	2.12	5.88	29.92	51.05	12.13
Marupá	0.72	4.67	2.90	28.32	49.90	12.58
Quillo sisa	1.52	3.44	5.06	26.27	52.63	17.13
Requia blanca	0.57	3.20	4.48	30.68	48.29	9.49
Sacha caoba	0.73	1.28	3.41	32.74	52.70	12.53
Sacha uvilla	0.41	2.59	2.22	27.78	53.89	12.64
Shiari	0.71	3.84	2.82	24.42	52.00	13.14
Shiringa masha	0.59	1.79	4.26	27.80	53.97	14.83
Tornillo	0.95	3.61	4.26	29.73	54.07	11.60

Fuente : Ing. M. Uceda - Departamento de Industrias
Forestales -UNA-

CUADRO (5-2)

Composición Elemental de la Madera

()

Elementos	Kjellstrom	Bergman	Siqueira
C	50 - 54	48 - 55	40.9 ± 1.0
H	5.9- 6.5	6 - 7	6.1 ± 0.1
O	40.4-43.4	38- 43	42.5 -44.6
N	0.0- 0.3	0- 0.8	0.1 - 0.3
Azufre	-	0.02-0.06	-
Cenizas	0.2- 2.0	0.1-2.0	0.2 - 1.0

Fuente : Referencia (4)

CUADRO (5-3)

Composición elemental de algunos combustibles
fósiles y biomásicos vegetales (% Base seca)

Material	C	H	O	N	S	Cenizas
Carbón mineral	75.5	5.0	4.9	1.2	3.1	10.3
Turba fósil	54.6	5.5	34.5	1.2	0.2	4.0
Lignito fósil	64.5	5.0	26.0	1.1	0.4	3.0
Carbón vegetal	80.3	3.1	11.3	0.2	0.0	3.4
Bagazo de caña	47.3	6.1	35.3	0.0	0.0	11.3
Cáscara de arroz	38.5	5.7	39.8	0.5	0.0	15.5
Paja de arroz	39.2	5.1	35.8	0.6	0.1	19.2
Paja de trigo	45.2	6.0	41.1	2.6	0.1	5.0
Corteza de pino douglas	56.2	5.9	36.7	0.0	0.0	1.2
Abedul	48.8	6.0	44.2	0.1	0.5	0.5
Sauce	48.4	6.2	43.0	0.1	0.03	1.4
Alamo	48.5	6.0	44.0	0.4	0.03	1.5
Euforbiaceas	45.0	5.5	40.0	0.75	0.25	8.0
Cedro *	48.8	6.37	44.46	-	-	0.37
Ciprés *	55.0	6.54	38.08	-	-	0.40

Fuente :- A. Svedlund - GASGENERATOR ab

* A. Siqueira - Gasógeno para motores

CUADRO (5-4)
PROPIEDADES FISICAS DE LA MADERA

	Verde	Densidad gr/cm ³		% Humedad	
		Seco al horno	Seco al aire	Verde	Seco
Aliso					0.41
Andiroba	0.54	0.60		65	13
Azucar Huayo		0.70		0	12.6
Arbol de Lajo		0.76			
Azufre		0.59	0.62		12.8
Asta de Venado	0.92	1.06		31.2	12.3
Almendro	0.66	0.89		66	
Balata	0.39	0.43		39	
Caoba	0.46	0.52		89	11.3
Catahua	1.38	0.41		67	11.9
Canela Moena		0.43			
Cedro de Altura		0.53			15
Cedro blanco		0.38			
Cedro Colorado		0.38			12
Cepanchina	0.61	0.70		42	
Cumala		0.41			13.8
Curala Colorada	0.59	0.67		95	
Copal	0.82	0.94		108	
Copaiba		0.63			
Chullachaqui Blanco	0.56			1	15
Chimicua	0.66	0.74		86	
Eucalipto G.	0.73				15
Estoraque	0.74	0.82			12
Huamansamana		0.33 -			
Huacamayo Caspi		0.07			
Huimba	0.25	0.27 -			13.1
Huito	0.73				13.5
Huayhuash Zapoto	0.54	0.59			11.8
Hunyrá Caspi	0.38	0.43			13.2

Cont.

	Densidad gr/cm ³			% Humedad	
	Verde	Seco al horno	Seco al aire	Verde	Seco
Ishpingo	0.55	0.61			13,2
Isma Moena	0.36	0.39		10.6	
Jacarandá	0.52				15.
Jacarando Copin		0.38			13.7
Juajilña		0.52			14.1
Lagarto Caspi	0.52	0.60			13.1
Lupuna	0.33	0.37			
Marupa	0.38	0.40		69	12.2
Machimango Blanco	0.56	0.64		101	
Moena Amarilla	0.55	0.61		123	
Mojarca	0.49				15
Nogal Amarillo		0.64			12.9
Oropel	0.24	0.26			13.5
Palo Cebolla	0.66				15
Palo sangre	0.82				
Purma Caspi	0.75				12.8
Pashoco Negro	0.79				15
Pasháco amarillo	0.31	0			15
Pucairo		0.77			13,5
Papelillo Caspi	0.65	0.74		39	
Puluna Caspi	0.63	0.73		36	
Quinal	0	0.55			
Quinilla Colorada	0.75	0.82		15.7	12
Quillo Sisa	0.52	0.61		117.9	13
Quinilla	0.82	0.94		41	
Romerillo Hembra		0.53			
Requia	0.47	0.5		13.3	12.5
Romerillo Macho		0.41			
Spinta		0.81			
Spintana	0.39	0.43		120	
Shimbillo	0.67	0.70			
Shimbillo Colorado		0.62			13.1
Sacha Cujmitillo		0.85			13,7
Tulpay	0.56	0.5			15
Tupa					12
Ubus	0.4	0.44		13.4	11.2
Uvilla	0.33	0.37		82	
Villo Colorado		0.44			
Yamich		0.39			13.8
Yacushapana		0.83	0.86		13.3
Yura Caspi		0.24			
Zapote	0.26	0.26	0.28		12.9

CUADRO (5-5)

Densidad seca al aire de especies forestales
de la zona de Pucallpa

Densidad (gr/cm ³)	Especies
Menos de 0.32	Lupuna blanca, Topa, Ficus Lupuna colorada, Maquisapa ñacsha
0.32 - 0.48	Eatahua, Cetico, Marupa, Huamansamana, Huimba, Ubos, Panguana, Hualaja
0.48 - 0.72	Cedro, Caoba, Tornillo, Copal, Copaiba, Cumala, Ishpingo, Lagarto, Capirona, Shimbillo, Zapote, Huayruro
0.72 - 0.96	Azúcar huayo, Incira, Quillo, Yacushapana, Manchinga, Mashonaste, Pumaquiroy, Machi- mango
Mas de 0.96	Estoraque, Tahuari, Almendro, Shihuanoaco, Anacaspi, Quinilla colorada

Fuente : Inventario Forestal del Bosque Nacional

Alexander Von Humboldt

CUADRO (5-6)

Consumo de Biogas pra diversos usos

Uso	Especificacion	Consumo Biogas (m ³ /hr)
Cocina	Quemador de 2" 0	0.33
	Quemador de 4" 0	0.47
Lámpara de Gas	1 Camiseta promedio	0.07
	equiv. a 100 bujías	0.13
Motor a Gasolina	Biogas /HP	0.45 - 0.51
Refrigeradora	por 1 pie ³ de cap.	0.034
Incubadora	por 1 pie ³ de cap.	0.013-0.017
Gasolina	por cada litro	1.33-1.87 m ³
Agua hervida	por cada litro	0.11 m ³
Gas propano	por cada balón de 24 libras	22 m ³

Fuente : Adaptación de National Academy of Sciences

CUADRO (5-7)

Rendimiento en Alcohol y Coque utilizando el
Proceso Scholler-Madison-Sovietico de Hidró-
lisis de materias Ligno-celulósicas

Materia	Etanol l/ton	Coque Kg/ton
MADERAS		
Eucaliptus alba	191	127
Eucaliptus grandis	195	108
Eucaliptus camaldulensis	156	138
Pinus caribea	199	153
Gmelina arborea	178	129
RESIDUOS AGRICOLAS		
Caña de azúcar : bagazo	188	105
hojas	153	99
Yuca : pedúnculos	165	125
Babazú : epicarpio	141	156
coco sin almendra	162	145
Trigo : paja de espigas	163	48
paja de tallos	160	80
Lino	157	140
Coco de Bahía : cáscara	120	153

Fuente : S.H. Etanol a partir de la Madera-Fundacao
Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC-
Brasil - 1980

CUADRO (5-8)

Composición elemental de la Leña
en base seca y con 40% de humedad

Elemento	Leña seca (%)	Leña con U=40% (%)
Carbono	50.30	30.18
Hidrógeno	6.20	3.72
Oxígeno	43.08	25.85
Nitrógeno	0.04	0.024
Cenizas	0.38	0.228

Fuente : Referencia (45)

CUADRO (5-10)

Variación de los poderes caloríficos
respecto a la humedad de la Leña

Humedad (%)	PCS Kcal/Kg	PCI Kcal/Kg
0	5083	4756
10	4575	4221
20	4067	3687
30	3558	3153
40	3050	2619
50	2542	2085
60	2033	1551
70	1525	1016
80	1017	482
90	508	-

CUADRO (5-9)

Interrelaciones entre los poderes
caloríficos superior e inferior

$$\text{PCSS} = \text{PCS seco}$$

$$\text{PCSU} = \text{PCS húmedo}$$

$$\text{PCIS} = \text{PCI seco}$$

$$\text{PCIU} = \text{PCI húmedo}$$

$$H = \% \text{ Hidrógeno}/100$$

$$U = \% \text{ humedad} / 100$$

$$K = 9.H (1-U) + U$$

Conocidos PCSS y U

$$\text{PCSU} = \text{PCSS} (1-U)$$

$$\text{PCIU} = \text{PCSS} (1-U) - 586 K$$

$$\text{PCIS} = \text{PCSS} - 586 K$$

Conocidos PCSU y U

$$\text{PCSS} = \text{PCSU} / (1-U)$$

$$\text{PCIU} = \text{PCSU} - 586 K$$

$$\text{PCIS} = \text{PCSU} / (1-U) - 586 K$$

Conocidos PCIU y U

$$\text{PCSU} = \text{PCIU} + 586 K$$

$$\text{PCSS} = \text{PCIU} / (1-U) + 586 K / (1-U)$$

$$\text{PCIS} = (\text{PCIU} + 586 U) / (1-U)$$

Conocidos PCIS y U

$$\text{PCSU} = \text{PCIS} (1-U) + 586 \times 9 H (1-U)$$

$$\text{PCSS} = \text{PCIS} (1-U) - 586 U$$

CUADRO (5-11)

Poder Calorífico Superior expresado
en Kilocalorías por masa y volumen

Especie	Densidad Kg/dm ³	PCS Kcal/Kg	PCS Kcal/dm ³
Apacharama	0.81	4670	3783
Azufre caspi	0.74	4770	3530
Bellaco caspi	0.63	4700	2961
Carahuasca	0.48	4780	2294
Caupurí	0.45	4768	2146
Copal	0.61	4721	2880
Cumala blanca	0.50	4735	2368
Chimicua	0.72	4810	3463
Huamansamana	0.35	4730	1656
Isma moena	0.63	4798	3023
Jarabe huayo	0.48	5677	2245
Machimango colorado	0.89	4745	4223
Marupá	0.43	4883	2100
Quillo sisa	0.36	4690	1688
Requia blanca	0.78	4885	3810
Sacha caoba	0.70	4763	3334
Sacha uvilla	0.40	4754	1902
Shiari	0.30	4719	1416
Shiringa masha	0.67	4621	3096
Tornillo	0.37	4798	1775

Fuente : Ing. M. Uceda - Departamento de Industrias
Forestales -UNA-

CUADRO (5-12)

Poderes Caloríficos de 16 especies forestales
del Departamento de Madre de Dios

Especie	PCS Kcal/Kg	PCI Kcal/Kg
Aceituna caspi	4654	2455
Carahuasca	4250	2200
Carahuasta	4522	2226
Chimicua	4894	3137
Estoraque	4409	3172
Mashonaste	4193	2187
Moena	4869	2324
Mojara Caspi	4585	2620
Oreja de burro	4533	2455
Paujil ruro	4299	3208
Palo pusanga	4598	3010
Sapote	3860	1864
Sapotillo	4762	2282
Shimbillo	4916	3127
Shiringa	4443	2282
Tamamuri	4578	3114

Fuente : Corporación de Desarrollo del Departamento de Madre de Dios -CORDEMAD-

CUADRO (5-13)

Poderes caloríficos de especies madereras
comerciales de Pucallpa, al 40% de Humedad

Espe cie	PCS Kcal/Kg	PCI Kcal/Kg
Caoba	5177	2908
Catanua	4723	2651
Cedro	4748	2666
Copaiba	4830	2711
Cumala	4735	2658
Ishpingo	5177	2908
Lagarto	4803	2696
Lupuna	4714	2646
Moenas	4869	2734
Tornillo	4798	2693
Otras	4770	2678

Fuente : Departamento de Industrias Forestales

- UNA-

CUADRO (5-14)

Variación de la Temperatura teórica
de Combustión de la Leña

Humedad U (%)	PCI Kcal/Kg	Kg.Gases Prod. Kg. Leña	Temperatura °C
0	4756	9.50	1620
10	4221	8.64	1580
20	3687	7.80	1540
30	3153	6.95	1490
40	2620	6.10	1420
50	2085	5.25	1320
60	1551	4.40	1190
70	1016	3.55	990

Fuente : Referencia (45)

CUADRO (5-15)

Influencia del tamaño del combustible Leña
en la combustión parcial para gasificación

Componente	Rajas de leña	Astillas	Aserrin
CO	29.0	21.0	18.2
CO ₂	6.6	10.0	12.2
H ₂	13.0	18.0	10.2
CH ₄	4.2	3.6	3.2
N ₂	47.0	46.6	55.4
O ₂	0.2	0.6	0.8
PCI del gas Kcal/Nm ³	1570	1406	1090

Fuente: Bass. CO y Milner G. Producer Gas 1953

CUADRO (5-16)

Poder Calorífico Inferior Promedio
de diferentes combustibles

Combustible	PCI		Densidad
	Kcal/Kg	Kcal/dm ³	Kg/dm ³
Madera seca	4545	2615	0.575
Madera, astillas (5% de humedad)	4306	861	0.200
Madera, pellet (15% de humedad)	3804	2471	0.650
Carbón Vegetal (10% de humedad)	6794	1292	0.190
Etanol	6459	5024	0.790
Metanol	4784	3827	0.790
Gas Natural	-	8133	-
Gasolina	10287	7416	0.730
Kerosene	10048	8134	0.810
Diesel	10287	8612	0.830
Aceite pesado	10047	9330	0.910
Coque	6698	3110	0.450
Carbón mineral	6459	5023	0.800

Fuente : Forestry Bulletin - Energy Production
Group - Sweden ,1984

CUADRO (5-17)

Características del Carbón Vegetal de
4 especies forestales de Ucayali

Propiedad	Apachara ma	Machimango colorado	Requia colorada	Eucalipto
Humedad (%)	4.7	4.7	5.7	5.4
Sustancias volátiles(%)	13.1	14.1	9.8	10.4
Cenizas (%)	10.7	3.1	0.2	1.6
Carbono fijo (%)	71.5	77.9	84.3	82.6
PCSS (Kcal/Kg)	8000	8665	8665	8570
PCSU (Kcal/Kg)	7904	8446	8558	8296
Humedad física de muestras(%)	10.53	11.15	11.38	11.48

Fuente : Convenio UNA - MIT

CUADRO (5-18)

Resumen comparativo entre los planes
de manejo forestal propuestos

Características	Plan		
	Reg. Nat	Reg.Nat.Enr.	Tala R y R
<u>Bosque Aluvial</u>	I	II	III
Biomasa aprovechable (m ³ /Ha)	30-35	50-70	100-150
Energía útil media(Gcal/Ha)	60	120	250
<u>Bosque de Colina</u>			
Biomasa aprovechable (m ³ /Ha)	30	60	130
Energía útil media(Gcal/Ha)	50	100	210
Periodo de rotación máx.(años)	≤ 40	≤ 20	≤ 14
Características adicionales	Aplicación más simple, amplia y más económica	Seguro respecto al medio ambiente, más costoso que I	Altos rendimientos, de mayor costo que I y II

CUADRO (5-19)

Desechos madereros producidos en las
Industrias madereras de la Selva Baja
(m³/a)

Desechos	Loreto	Ucayali	M. de Dios
Madera aserrada	30500	111000	25000
Parquet	-	3000	-
Madera laminada	50000	-	-
Madera contra - chapada	30000	47000	-
Total	110500	161500	25000

Fuente : Ministerio de Agricultura

CUADRO (5-20)

Biomasa forestal explotable en la Selva Baja

	Area Total Ha x 10 ³	Parte interv.	Area interv. Ha x 10 ³	Energía obtenible Gcal x 10 ⁶
<u>Reg. Nat.</u>				
Bosque Aluvial	15385	15	2308	140
Bosque de Colina	32366	15	4855	240
<u>Reg. Nat. Enr.</u>				
Bosque Aluvial	15385	5	769	92
Bosque de Colina	32366	5	1618	162
<u>Tala Rasa y Ref.</u>				
Bosque Aluvial	15385	1	154	40
Bosque de Colina	32366	1	323	67

CUADRO (5-21)

Energía térmica obtenible de los recursos
biomásicos explotables en la Selva Baja

Material Biomásico	Energía Gcal/a
Desechos de industria maderera	300,000
Desechos de cosechas de arroz (paja de arroz)	220,000
Desechos de maíz	90,000
Desechos de yuca	70,000
Desechos de frejoles	15,000
Desechos de molinos de arroz	40,000
Recursos forestales	$(40,000-240,000) \times 10^3$

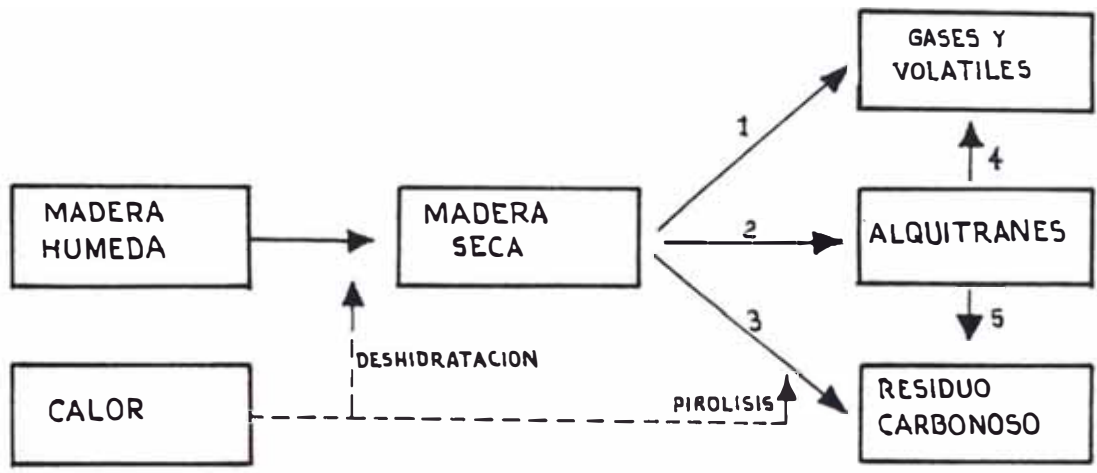


FIG (5-1). DESCOMPOSICION TERMICA DE LA MADERA

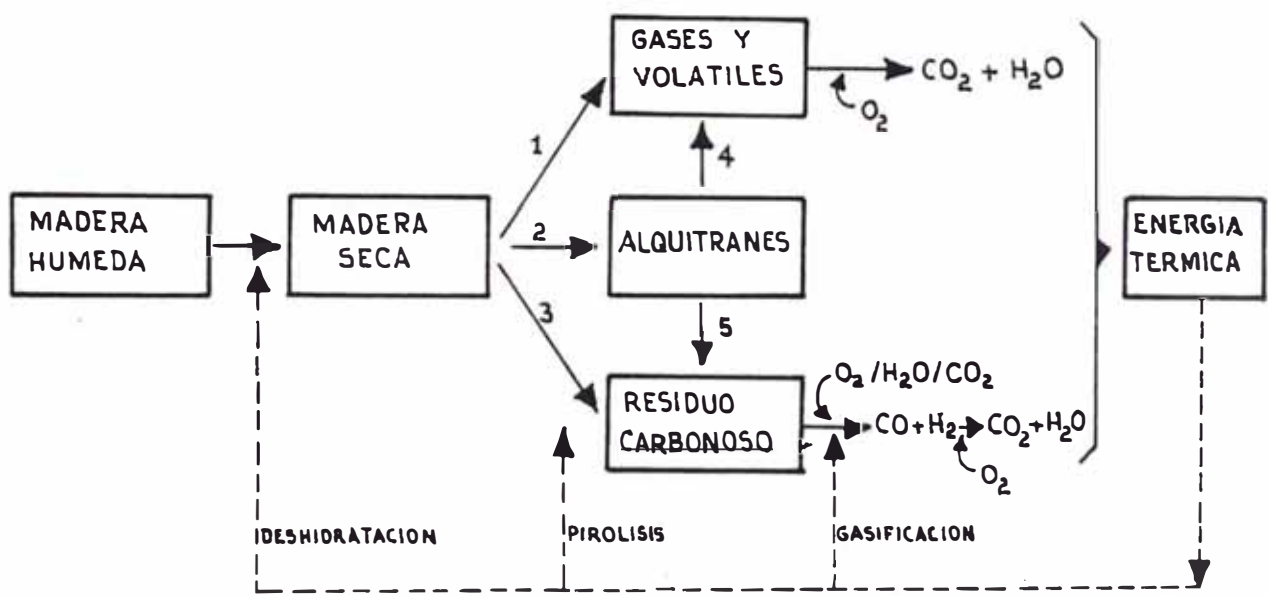
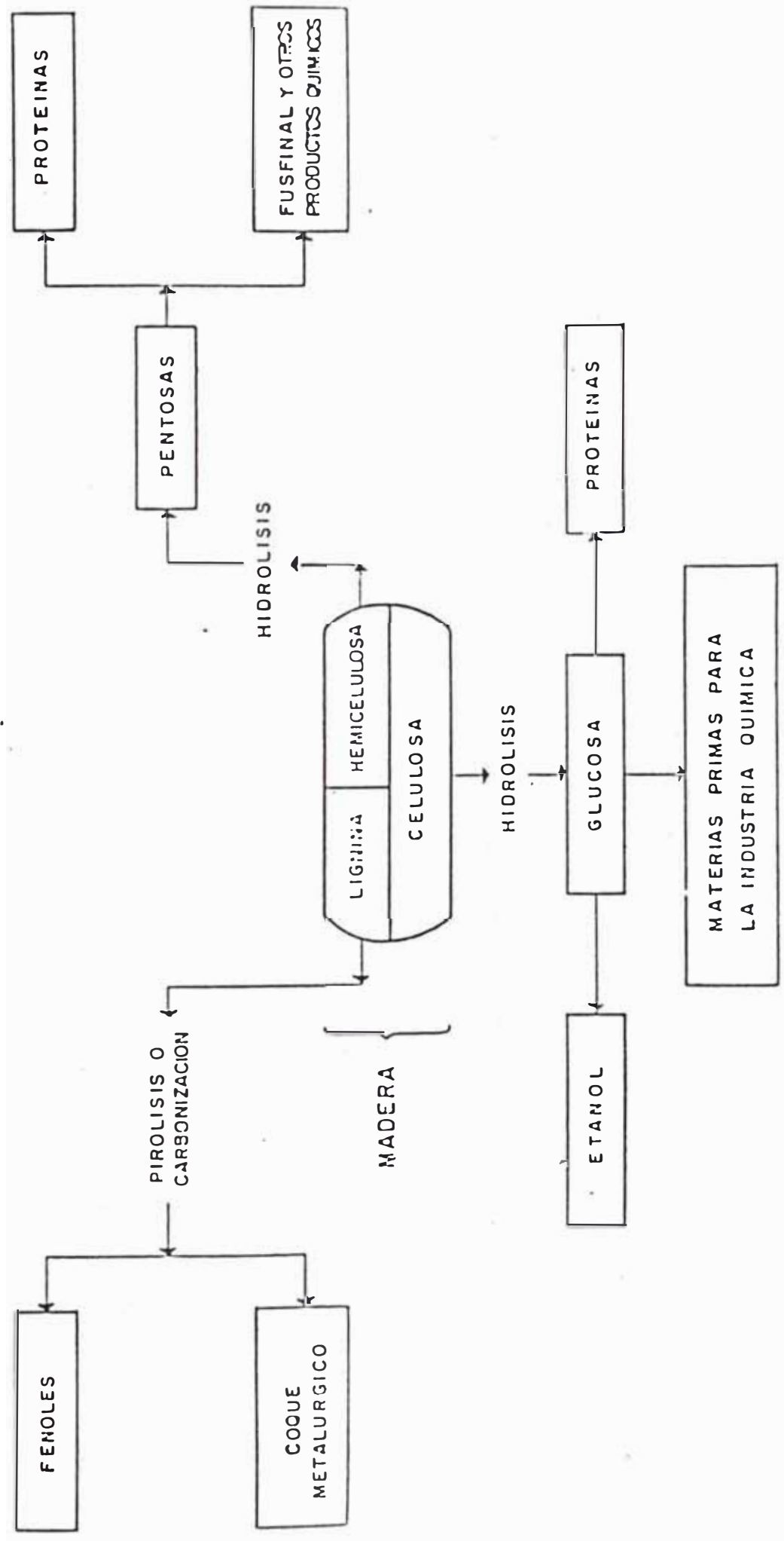


FIG (5-2) COMBUSTION DE LA MADERA

FIG (5-3) HIDROLISIS ACIDA DE LA MADERA



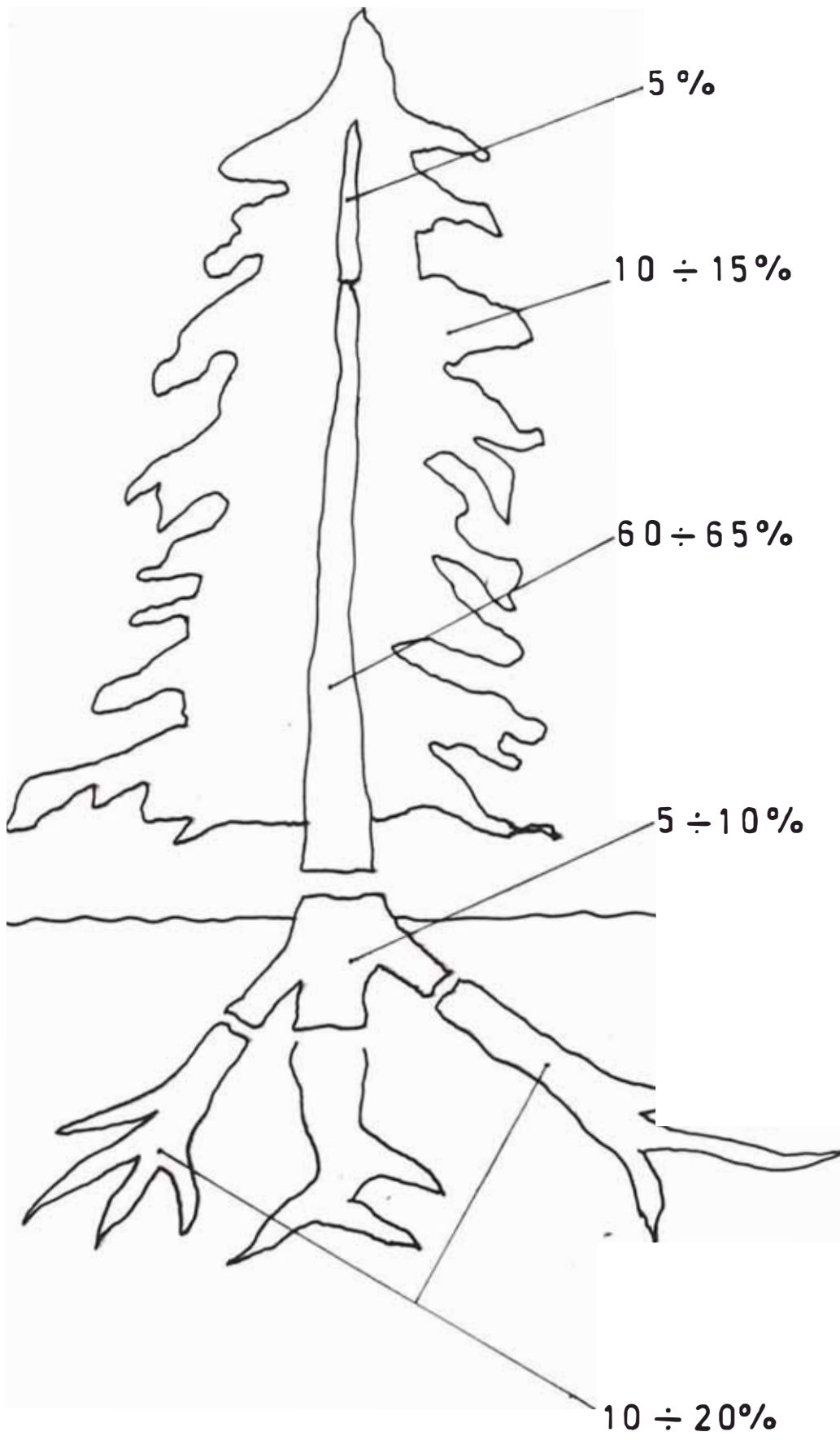


fig.(5-4) CONTENIDO DE BIOMASA EN UN ARBOL

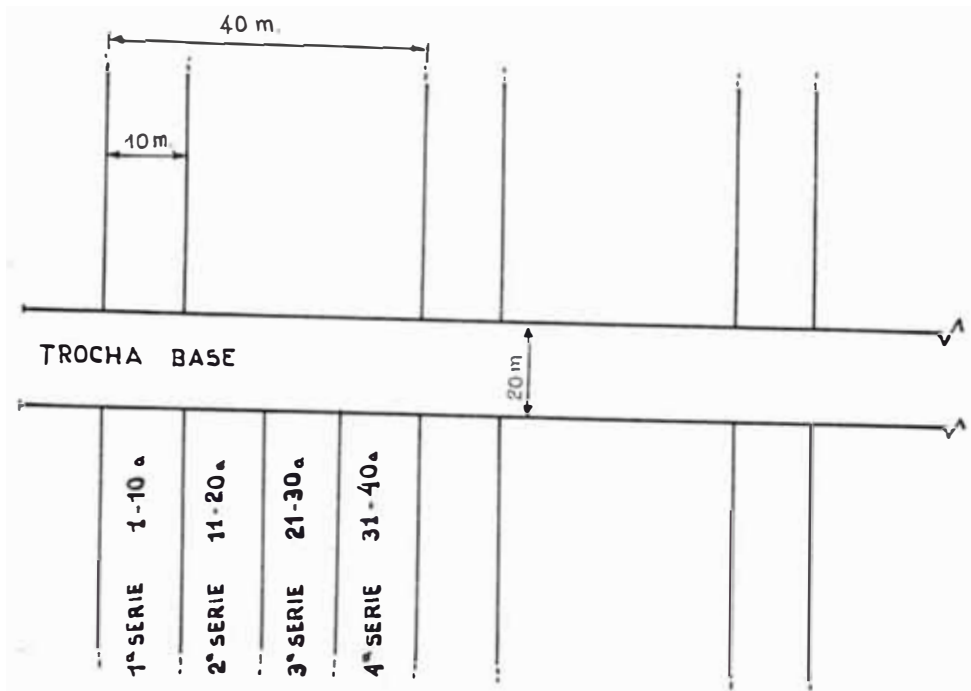


FIG.(5-5) REGENERACION NATURAL

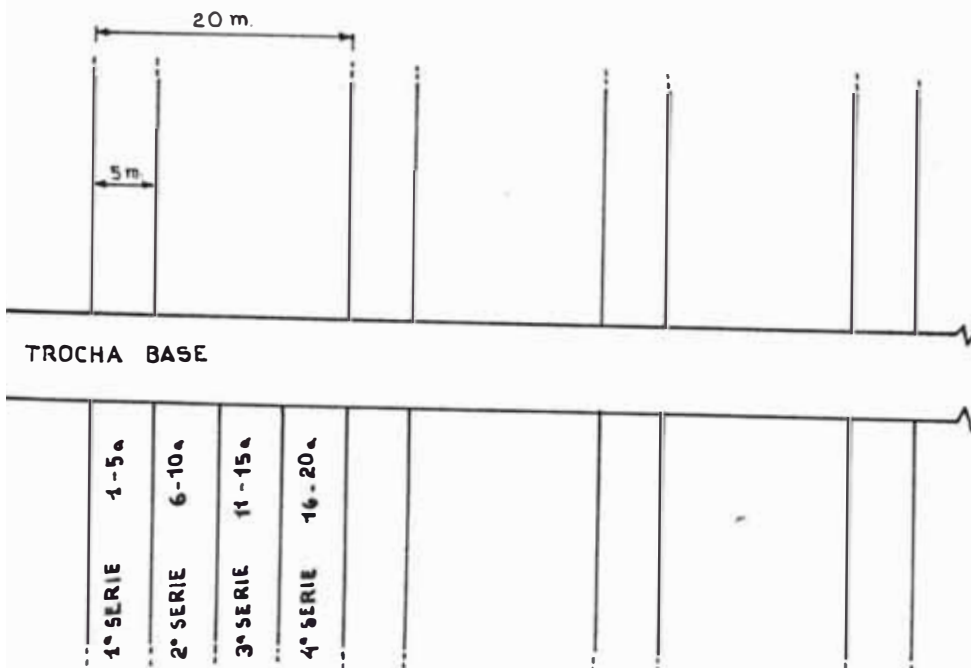


FIG.(5-6) REGENERACION NATURAL ENRIQUECIDA

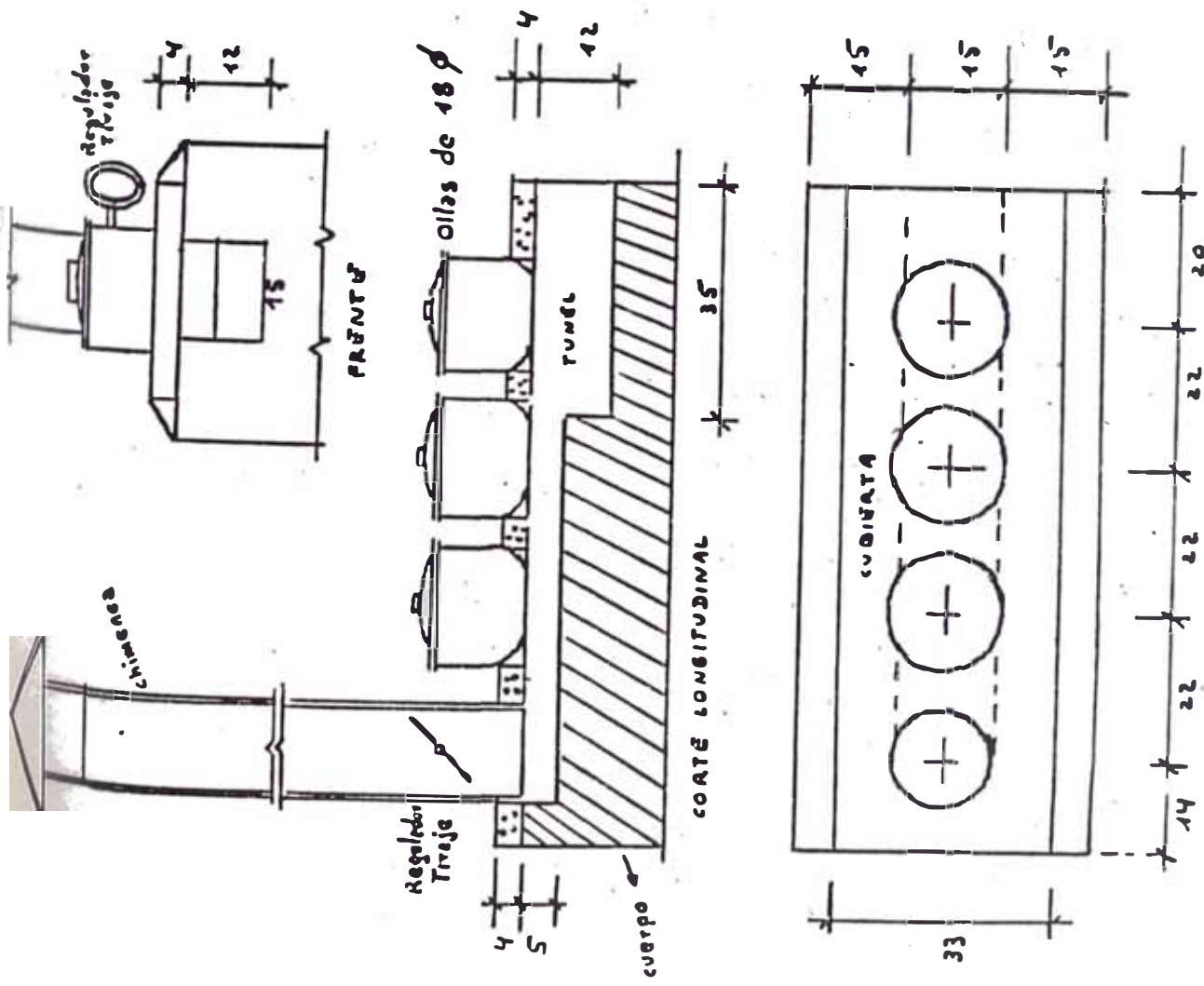


FIG. (5-7)B. COCINA TIPO CHULAH-DE ORIGEN INDU.

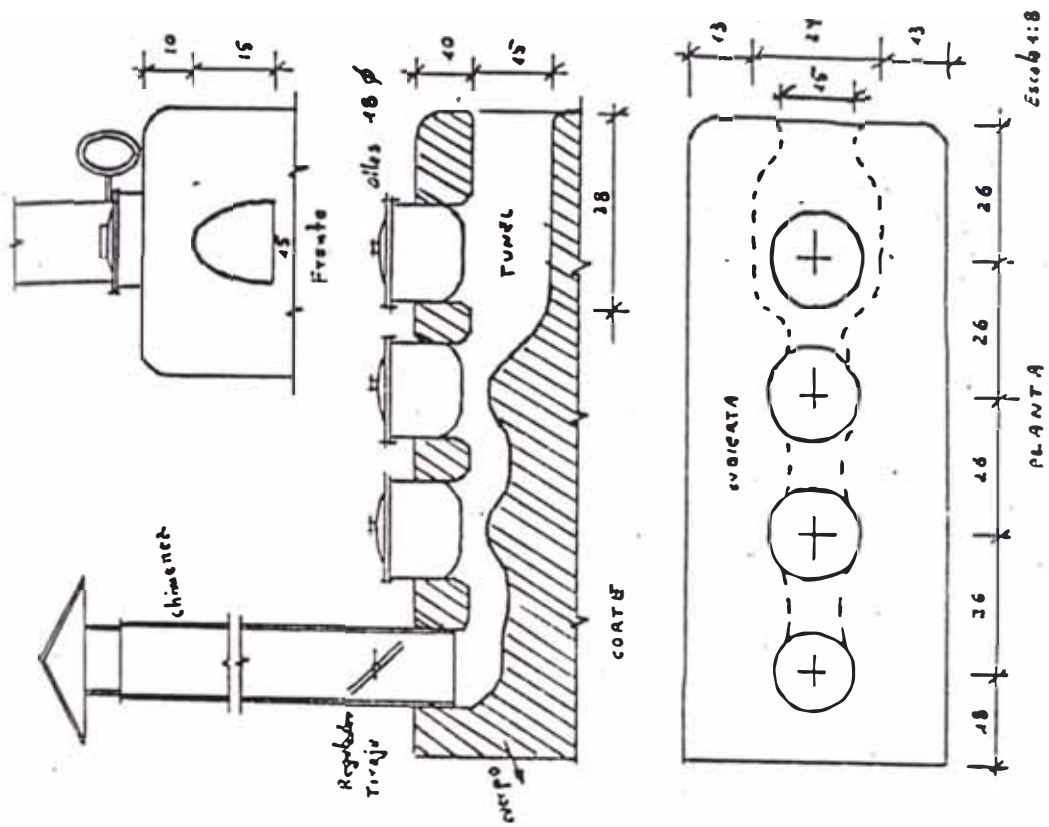


FIG. (5-7)B. COCINA TIPO LORENA (LODO Y ARENA)

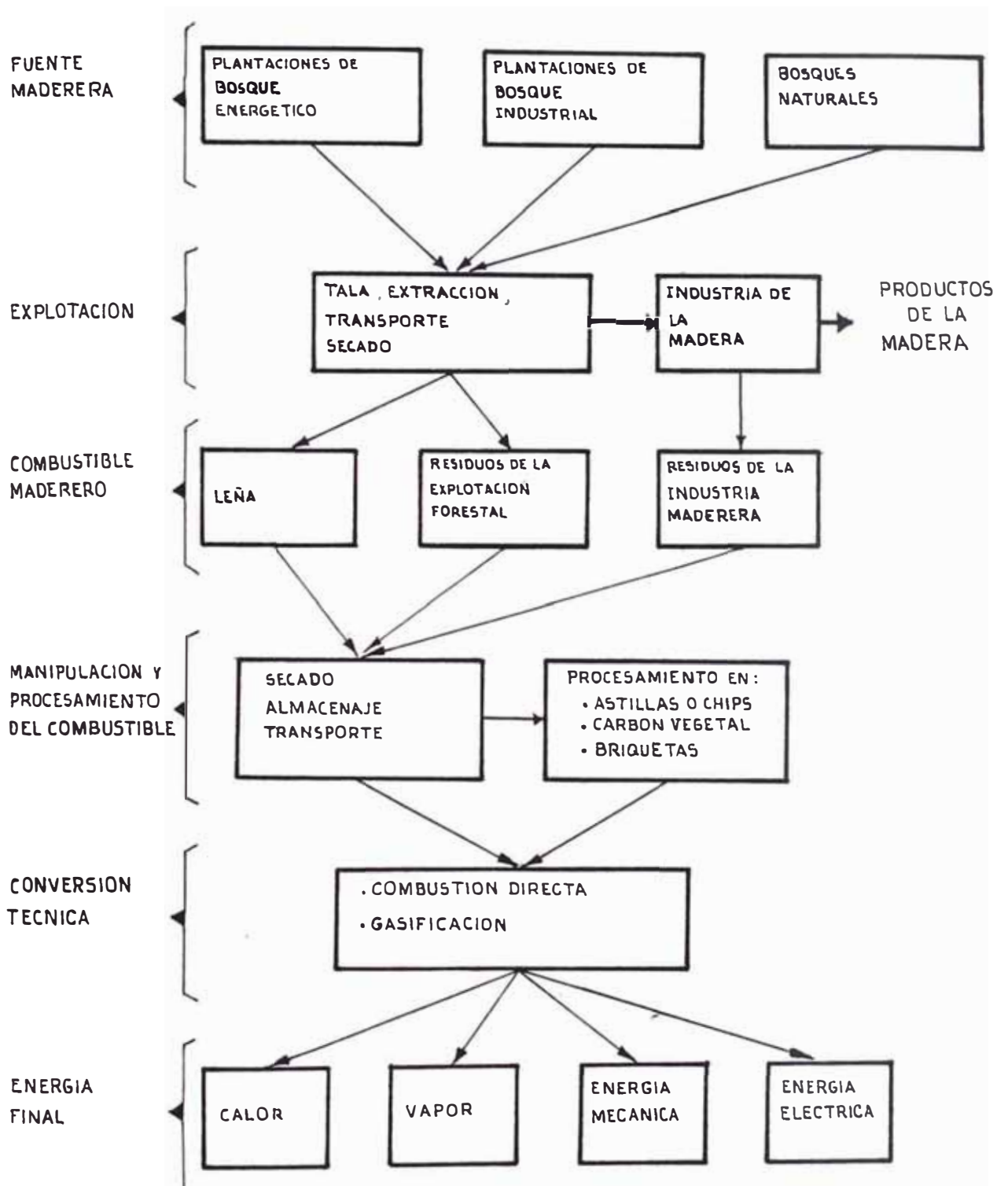


FIG.(5-8) SISTEMA DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LA MADERA

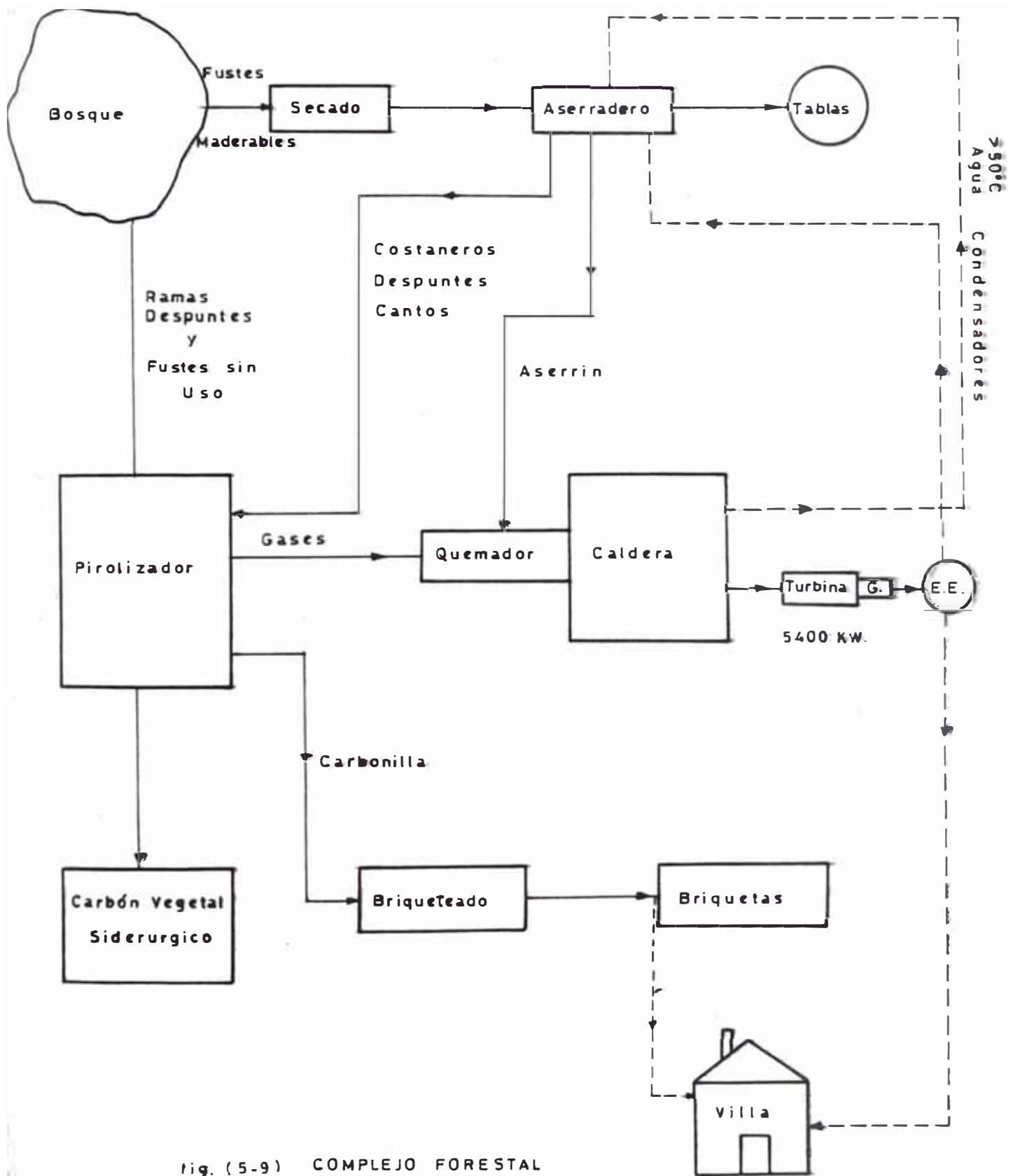


fig. (5-9) COMPLEJO FORESTAL

C A P I T U L O 6
PLANTAS DENDROTERMICAS PARA
GENERACION DE ELECTRICIDAD

6.1 Plantas Dendrotérmicas mediante Gasificación

6.1.1 Evolución histórica

Los principios básicos de la tecnología de la gasificación fueron desarrollados desde inicios del siglo XIX. La gasificación de la biomasa mediante gasificadores, fué utilizada en forma puntual en el periodo entre la primera y segunda guerra mundial, pero la aplicación tecnológica se inicia durante esta última.

Durante la segunda guerra mundial, países principalmente europeos dependientes e importadores de petróleo para uso como combustible en el sector automotriz, tuvieron que cambiar al uso del gas pobre, utilizando para esto coque, carbón de madera y madera como fuente primaria. Esta tecnología tuvo progreso notable por lo que rápidamente se introdujo en el mercado . En 1,942 en diversos países del mundo se produjeron 821,487 vehículos accionados mediante gasificadores .

Después de la segunda guerra mundial, el interés por el uso

del gas pobre disminuyó bruscamente como consecuencia de los bajos precios del petróleo y sus derivados; esto motivó que durante las siguientes décadas de post-guerra, virtualmente nada nuevo aconteciera en el desarrollo de los gasificadores excepto en Suecia que motivada por la crisis de Sues en 1,956 enmarca la gasificación dentro de sus planes estratégicos de emergencia energética. Surge así la investigación creando diseños apropiados de gasificación de madera esencialmente para el uso en transporte (vehículos), anticipándose así a una producción en gran escala para casos de emergencia energética nacional sueca.

El interés de la gasificación en pequeña escala tanto en el uso automotriz como estacionario, comienza a inicios de 1,970, como resultado del incremento en los precios del petróleo ; pues se retoma la investigación en este campo y entonces aparecen muchas firmas manufactureras de gasificadores en el mercado y un creciente número de plantas demostrativas instaladas en varios países en desarrollo.

6.1.2 Tipos de Gasificadores

6.1.2.1 Gasificadores de Corriente ascendente o de Contracorriente

Este tipo de gasificador es el más antiguo y más simple de los conocidos cuyo esquema se muestra en la figura (6-1). El aire ingresa por la parte inferior y el gas es aspirado por la parte superior; el combustible primario es alimentado por la parte superior y va descendiendo lentamente a medida que es transformado.

Los flujos de aire, gas y el combustible primario fluyen - en contracorriente.

El alquitrán y las sustancias volátiles producidas durante los procesos son arrastrados en la corriente de gas y las cenizas son removidas al fondo del gasificador.

Las ventajas notorias de este tipo de gasificador son: su simplicidad, alto quemado del carbón de madera, buen intercambio interno de calor permitiendo así alcanzar buenas eficiencias del equipo, y también puede operar con varios tipos de combustible primario (aserrín, cáscaras de cereales, etc.).

Entre sus desventajas se tienen: La propensión a situaciones de explosión y el gas al salir del gasificador tiene gran contenido de alquitrán.

6.1.2.2 Gasificadores de corriente descendente o de cocorriente

El aire es introducido en forma radial cerca de la zona de oxidación del gasificador. La alimentación del combustible primario se realiza por la parte superior mientras que el gas producido es conducido por el fondo atravesando la zona de combustión, craqueándose, logrando así eliminar los compuestos alquitranosos (dependiendo por cierto de la temperatura de la zona caliente y el tiempo de residencia).

La ventaja principal de este tipo de gasificador es precisamente, la producción de gas pobre casi libre de alquitrán, el que es apropiado p.e para accionamiento de motores.

Entre sus desventajas se tienen :requiere combustible primario previamente procesado, posee alto contenido de ceniza en comparación con el primer tipo y es de menor eficiencia originada por la falta de calor interno y valor calórico del gas. En la figura (6-2) se muestra el esquema de este tipo de gasificador.

6.1.2.3 Gasificadores de corriente cruzada

El aire se introduce por un costado a la altura de la zona de combustión y el gas pobre es aspirado por el lado opuesto según como se esquematiza en la figura (6-3). En este tipo, la gasificación del carbón resulta a muy altas temperaturas (1,500 °C a más) en la zona de oxidación, lo cual puede traer consigo problemas en el material estructural; en este caso el aislamiento contra dichas temperaturas es fijado por el mismo combustible primario (carbón de madera)

Entre las ventajas de estos gasificadores se tiene :la respuesta rápida a cambios de carga y la simplicidad de construcción. Las ventajas se manifiestan en pequeñas escalas de uso (menos de 10 KW de potencia) y, cuando se requiera para accionamiento de pequeños motores el lavado de gas es simple, pues únicamente se requiere un ciclón y un filtro caliente.

Una de sus mayores desventajas es la mínima capacidad de conversión del alquitrán, trayendo consigo la necesidad de usar carbón de madera de alta calidad para fines de gasificación (limitado contenido de volátiles).

6.1.2.4 Gasificadores de lecho fluidizado

El aire (agente gasificante) es soplado con suficiente velocidad hacia el lecho de partículas combustibles para mantenerlos en estado de suspensión. El lecho es inicialmente calentado y el material combustible primario previamente preparado (triturado y secado en caso de madera o residuos forestales y triturado en caso de utilizar carbón de madera) y se introduce por la parte inferior del lecho según como se esquematiza en la figura (6-4). Los intensos movimientos de mezcla y las altas velocidades relativas en el interior del lecho, garantizan un óptimo intercambio de calor y materia consiguiendo así una reacción rápida con temperaturas estables que varían mínimamente en todo el sistema .

Entre sus ventajas se tienen : buen comportamiento a cargas parciales , alto rendimiento de producción de gas debido a un eficaz intercambio de calor y masa , no se obtienen subproductos tales como alquitrán y demás gases condensables debido a la temperatura homogénea y el rápido calentamiento de los sólidos , las temperaturas constantes en el sistema inducen a mínimos esfuerzos del revestimiento refractario impidiendo la ubicación de zonas calientes que como consecuencia se logra una prolongada duración del material refractario.

Entre las desventajas se tiene: el alto contenido de ceniza en el gas pobre cuando no se usa un ciclón el cual aumenta los costos y solo se compensa para su uso en grandes potencias (mayores de 500 KW)

En la actualidad existen adicionalmente ,otros tipos de gasificadores los cuales forman parte del avance tecnológico de la gasificación del carbón mineral.

6.1.3 Aplicaciones de la gasificación de biomasa

6.1.3.1 Producción de gas combustible para calor

Actualmente la mayor parte de gasificadores comerciales son usados para la producción de calor debido a que en estos casos no se requiere muchas exigencias en valores calóricos y contenido de alquitrán. La ventaja principal de un gasificador cerrado acoplado a un sistema de quemado es, su facilidad para producir altas temperaturas las cuales traen como resultado el aumento del rendimiento y producción total de energía calórica.

6.1.3.2 Producción de energía mecánica y eléctrica

El gas pobre previamente tratado sirve como combustible para accionar motores estacionarios y así generar energía mecánica y/o eléctrica . Para estos usos se requiere de gas pobre de buena calidad, es decir de un poder calorífico arriba de los $1,000 \text{ Kcal/m}^3$, libre de alquitrán y desechos y, enfriamiento adecuado con el objetivo de minimizar el gasto mecánico, optimizar el consumo de gas y la producción total de energía

Las aplicaciones de la gasificación en este campo se pueden subdividir en función de la potencia requerida.

- Aplicaciones a gran escala (más de 500 kW)

Para estas capacidades de potencia los sistemas de gasi-

ficación son de lecho fijo o de lecho fluidizado, requieren de ingeniería especializada y empresas dedicadas a la construcción. Los costos del equipo de gasificación estarían en un rango no menor de 1,200 US\$ por KW.

- Aplicaciones a escala media (30 - 500 KW)

En este rango los equipos son de lecho fijo; utilizan madera, carbón vegetal y algunos tipos de desechos agrícolas. En el mercado actual existen muchas empresas americanas y europeas, sus costos varían de acuerdo al tipo, capacidad, nivel de automatización y equipo auxiliar. Una adecuada y continua demanda de estos equipos llevaría a la estandarización de partes y diseños, permitiendo así bajar los costos de producción. Es posible la fabricación local en países donde existe una industria metalúrgica bien desarrollada.

- Aplicaciones en pequeña escala (7 - 30 KW)

En estas capacidades la gasificación es apropiada para muchas aplicaciones especialmente para zonas aisladas de países en desarrollo ya que su tecnología, operación y mantenimiento son relativamente simples.

- Aplicaciones en micro-escala (1 - 7 KW)

En este tamaño es requerido y utilizado por pequeños y medianos agricultores de algunos países en desarrollo, en el accionamiento de sistemas de bombeo de agua para irrigación. El equipo se caracteriza por ser transportable, simple y ligero en peso; es completamente factible la fabricación local de gasificadores de carbón vegetal.

6.1.3.3 Aplicaciones en el sector automotriz

La factibilidad de uso de gasificadores del tipo corriente ascendente alimentados con madera o carbón vegetal a sido comprobada en el accionamiento de automóviles , camionetas, camiones, buses, trenes, botes y barcos. Los países europeos son los que más han desarrollado esta técnica. La fabricación de tractores mediante esta técnica ha sido comunmente estudiada en países europeos tales como Suecia, Suiza, Francia, Finlandia, Holanda ; también la fabricación de pequeños carros y botes realizados en Filipinas , y camionetas en Sri Lanka .

Cuando se comparan con las aplicaciones estacionarias motrices, las aplicaciones móviles presentan dificultades adicionales tales como :

- En este caso, como se requiere que la construcción sea ligera cuanto sea posible, no se puede reducir excesivamente la capacidad de arrastre del vehículo porque la instalación de filtros tienden a hacerlo pesado y voluminoso.
- Se requiere de experiencia en la ingeniería de diseño y elección de materiales
- Las grandes variaciones de carga requeridas hacen variar las condiciones en el gasificador; durante los periodos largos de parada del vehículo se puede alcanzar a la formación de alquitrán, lo cual entorpece a los equipos de limpieza del gas.

Por cierto que estas desventajas pueden ser compensadas - por la mejora económica de los gasificadores para este uso , que de hecho dependerá fundamentalmente de la disponibili

dad y el costo del petróleo y sus derivados

6.1.4 Principio de transformación energética en un Electrogasógeno

A una Planta dendrotérmica para generación de electricidad mediante gasificación también se le denomina Electrogasógeno. La energía proveniente de la biomasa forestal (carbón o leña) se transforma en energía química o combustible secundario de bajo poder calorífico denominado gas pobre, en el reactor o gasificador propiamente dicho. Luego - en un sistema de tratamiento del gas pobre, es enfriado lavado, secado y filtrado para posteriormente ser quemado en un motor de combustión interna, el cual al ser acoplado a un alternador se genera energía eléctrica.

En la figura (6-5) se muestra el esquema principal de una planta de generación eléctrica mediante gas pobre.

6.1.5 Componentes principales de un electrogasógeno

6.1.5.1 El Gasificador o Gasógeno

En el gasificador propiamente dicho el combustible biomásico de alimentación (adecuadamente preparado), es secado, pirolizado y gasificado con aire. El gas obtenido tiene un poder calorífico medio entre 950 - 1,500 Kcal/Nm³ y consiste de una mezcla de gas pobre compuesto por CO, H₂ y metano (CH₄) los cuales salen conjuntamente con gases inertes como el dióxido de carbono y Nitrógeno

La selección del tipo de gasificador depende de varios factores entre estos el tipo de combustible biomásico a usar, la potencia requerida por la planta .

A la salida del gasificador, el gas pobre se encuentra a elevada temperatura y además compuesto por otras sustancias productos de la combustión parcial del combustible primario, por lo que se dispone de un sistema complementario al gasificador para su enfriamiento y purificación correspondiente. Este sistema es de singular importancia para el funcionamiento del motor de combustión interna pues, al no ser disminuido adecuadamente el alto contenido de partículas sólidas (polvo) y alquitrán en el gas, atentarían contra la vida de dicho motor. Su sofisticación depende del motor a usar, las expectativas de confiabilidad y vida útil de este, así como también de la frecuencia aceptable de interrupciones de operación para la limpieza y mantenimiento.

6.1.5.2 El motor de combustión interna

Generalmente los motores utilizados son:

- motores de encendido por chispa. (otto)
- motores de encendido por compresión. (diesel)

Los motores de encendido por chispa pueden ser operados con 100 % de gas pobre ;esto significa que un motor a gasolina puede sustituirse completamente al uso de gas, pero con el inconveniente de pérdida de potencia de 30 a 35% según el tipo específico de motor.

Los motores de encendido por compresión (motores diesel) requieren de por lo menos 10 a 20 % de combustible petróleo para efectuar el encendido del gas ,funcionando así en forma dual petróleo -gas pobre con la ventaja de mantener la potencia sin modificación del motor.

6.1.5.3 El generador eléctrico

Es el elemento de transformación de la energía mecánica, dada por el motor de combustión interna, en energía eléctrica. Su selección es convencional, de acuerdo al requerimiento de potencia. Más adelante se hace un análisis detallado de este tipo de máquina eléctrica.

La sofisticación, el acondicionamiento e implementación de una planta eléctrica a gas pobre, en general, depende principalmente de la capacidad y aplicación que se requiera.

A manera de referencia se muestra a continuación las características del equipamiento del Proyecto CHILINA, cuya capacidad es de 30 KW, que fue ejecutado por ELECTROPERU. En la figura (6-6) se ilustra su esquema respectivo.

Proyecto Chilina

- El Gasificador

Es del tipo de corriente descendente, consta de dos unidades gasificadoras cuya capacidad es de 170 Kg de carbón vegetal los que representan unos 270 KWh (25,000 Kcal/h) de energía generada por carga.

- El Ciclón

Tiene una eficiencia de 75 % y su estructura es de acero comercial soldado. El ciclón permite la decantación de las cenizas mayores del gas mediante el centrifugado, y a la vez sirve también como un primer enfriador.

- El Radiador

Su estructura consiste de 8 tubos aleteados que permiti

rán el enfriamiento del gas por convección forzada. Encima de los tubos se ubica un ventilador axial, que permite un buen enfriamiento del gas de tal forma que este ingrese al motor 3 °C por encima de la temperatura ambiente. Posee una inclinación de 5 grados con el fin de permitir el drenaje en los condensados piroleñosos.

- El Filtro lavador

Consta en su interior de dos pasajes en donde el gas recibe chorros de agua provenientes de boquillas especialmente acondicionadas para precipitar los sólidos en suspensión que lleva el gas .

- El Filtro purificador

Permite atraer los sólidos adicionales en el gas, a través del contacto superficial del gas con la película de agua. Una vez que el gas ha entrado en contacto con el agua, asciende, pasando a través de una bandeja de corchos con el fin de absorber la humedad contenida en este.

- El Filtro de mangas

Diseñado especialmente para atrapar las microcenizas que transporta el gas. Su capacidad de retención es de hasta 5 micras.

- Trampas de agua

Permiten aumentar el secado del gas mediante el aumento del recorrido de este, logrando que las partículas de agua se condensen .

- El Mezclador aire-gas

Está diseñado para una adecuada regulación de la entrada de la mezcla aire-gas y consta de mariposas que permiten

el estrangulamiento de dicha mezcla. La regulación de estas podrá ser manual o automática, para lo cual está fijada la actuación de un regulador de velocidad, que mediante un mecanismo de varillaje permite el control de acuerdo a la solicitud de carga del motor.

En la figura (6-7) se ilustra los componentes de una planta dendrotérmica de generación eléctrica para una determinada potencia.

6.2 Plantas Dendrotérmicas de Combustión Directa

6.2.1 Evolución tecnológica

Historicamente, en forma resumida, el uso de vapor de agua para generación de fuerza motriz ha evolucionado de la siguiente forma cronológica :

- Heron 75 D.C : Filósofo griego, construye la primera máquina a vapor denominada "La bola de vapor de Heron".
- T. Newcomen : inglés, basado en el trabajo de los inventores Savery (inglés) y Papin (francés) fue nombrado el inventor de la máquina de vapor reciprocante . Su primera máquina fue puesta en operación en Inglaterra en 1712 y en Suecia en 1727 ; en ambos casos para accionar sistemas de bombeo en minas
- J. Watt : inglés , en 1,770 diseña la primera máquina de vapor con cigüeñal. En 1,782 ideó y construyó la primera máquina de vapor de doble efecto.
- Woolf : en 1,804 inventó la primera máquina de vapor de doble expansión (Compound), es decir dos cilindros son movidos en un mismo cigüeñal y el vapor se expande , -

una parte en el primer cilindro y la otra en el siguiente (expansión en serie) .

- En 1,870 : se construye la primera máquina de vapor de tres cilindros en serie conectados a un mismo cigüeñal , así se logró aumentar la potencia y economía.
- En 1,890 : se construye la primera máquina de cuatro cilindros en serie.

La producción de vapor mediante calderas a carbón - para la generación de fuerza motriz a través de máquinas - de vapor reciprocantes, fué la tecnología que dió origen a la era de la industrialización mundial . Su utilización en los diferentes campos de la industria, el accionamiento automotriz, ferroviario, navegación , generación de potencia eléctrica , han permitido su evolución técnica y económica - de funcionamiento, llegando en la actualidad a un alto grado de perfeccionamiento.

En la mayoría de estos campos la máquina de vapor marcó la única solución posible . Su alta confiabilidad y la sencillas de operación y economía , son una de las claras ventajas que lo hacen viable su aplicación hasta hoy y por mucho tiempo más

En la actualidad estamos afrontando la llamada "crisis energética" ; es decir la energía , por un lado es costosa y por otro, no está bien distribuida dentro la demanda regional y mundial. En países industrializados frecuentemente - la crisis consiste en los altos precios del petróleo y su dependencia de éste en gran parte de sus consumos ; en países en desarrollo esta situación es más crítica, peor en -

aquellos importadores de petróleo . En estos últimos que se caracterizan por disponer de otras fuentes energéticas, especialmente la biomasa forestal, urge la necesidad de aprovecharlas técnicamente con sistemas de conversión que sean simples , seguros y económicos tales como la tecnología caldera - máquina de vapor.

6.2.2 Aplicaciones

Las aplicaciones de la combustión directa en calderas de leña son diversos ,entre estos se tienen:

6.2.2.1 Generación de energía mecánica y eléctrica

- Aplicaciones a gran escala (más de 500 KW)

Las plantas con potencias superiores a 500 KW requieren de apropiados dispositivos de mando y reglaje que aseguren su fiabilidad y seguridad . Para estas capacidades - generalmente el caldero es del tipo acuotubular y la máquina motriz lo constituye una turbina de vapor.

La producción de electricidad puede satisfacer demandas urbanas en forma independiente o mediante sistemas interconectados . En la figura (6-8) se muestra la distribución general de una planta eléctrica a leña con capacidad de 3 MW ;similares a esta lo conforman a la mayor parte de electricidad generada en Filipinas .

- Aplicaciones a escala media (50 a 500 KW)

En este rango de capacidades se presenta como una solución energética para países en desarrollo que dispongan de abundante recurso forestal, especialmente para lugares

alejados marginados en el tiempo pero con abundantes recursos naturales ,donde el petróleo es escaso y de elevado precio.

Tal como se demostrará posteriormente, para nuestro medio ,la alternativa técnico-económica óptima para la producción de potencia útil en este rango se ajusta a la utilización de caldera a leña tipo pirotubular y como elemento motriz a la máquina de vapor reciprocante.

Los usos específicos de esta tecnología en estas zonas - pueden ser:

- . La generación de energía eléctrica a través de unidades locales descentralizadas para cada pueblo.
- . La generación de energía eléctrica, mecánica y/o calorífica para industrias forestales (aserraderos, industria del parquet , triplay , etc), industrias agrícolas (arroz, café , cacao, aceite de palma, conservas de frutas, etc).

6.2.2.2 Optimización y ahorro de energía en plantas industriales

Un medio adecuado para aumentar la rentabilidad de la instalación en las fábricas que utilizan el vapor en sus procesos de producción es el aprovechamiento de fuerza y calor, o fuerza en los servicios de contrapresión.

En estas empresas la caída de calor disponible entre la caldera y los aparatos consumidores de vapor (sistemas de calefacción, instalaciones de cocción, instalaciones de secado, etc), se puede convertir en fuerza mecánica o eléctrica mediante una máquina de vapor la cual prácticamente reem -

plaza a las válvulas de reducción (las que, a pesar de que alimentan a los procesos térmicos con vapor de cierta presión y temperatura ,resultan antieconómicas porque destruyen la caída de presión existente sin aprovecharla), consiguiendo así una optimización energética de la planta.

Por otro lado, en un gran número de plantas de producción tales como fábricas de vidrio, fábricas de cemento, fábricas de gas, en la industria cerámica, ladrillo, etc ; muchas veces los gases de escape de los hornos contienen considerables cantidades de calor que no son debidamente aprovechados. Acá es donde precisamente se debe utilizar la alta temperatura de los gases de escape para la producción de vapor mediante una caldera de recuperación de calor, el cual puede ser expandido en una máquina de vapor alternativa cuya energía mecánica accione a un generador eléctrico.

6.2.3 Principio de transformación energética en una planta dendrotermica de combustión directa

La energía liberada durante la combustión total de la biomasa en el horno de la caldera , es transferida hacia el agua en forma de calor, llegándolo a vaporizar a determinadas condiciones de presión y temperatura . Esta energía del vapor es expandido en una máquina motriz, convirtiéndose así en potencia mecánica en su eje el cual al ser acoplado a un alternador se obtiene energía eléctrica.

En las figuras (6-9) y (6-10) se ilustran dos plantas de generación de energía eléctrica para capacidades bajas y medias , donde la fuerza motriz se obtiene en máquinas de

vapor alternativas. Por cierto, la distribución del equipamiento y el grado de implementación varía de acuerdo a la capacidad de generación y el campo de utilización específicos.

6.2.4 Componentes principales de una planta de generación de combustión directa

En una planta de vapor para generación de energía eléctrica, el agua de alimentación ingresa a la caldera impulsada generalmente por un sistema de bombeo, que al aprovechar la energía calorífica proveniente de la combustión biomásica se convierte en vapor a altas condiciones de presión y temperatura, para estos casos 12-40 bars y 300-380°C respectivamente. La máquina motriz puede ser una turbina de vapor o una máquina de vapor reciprocante, pues su elección depende de entre otras condiciones, la capacidad, vida útil, la eficiencia y la economía de operación, campo de aplicación

De acuerdo al ciclo térmico que realiza el fluido de trabajo existen normalmente dos tipos de sistemas de vapor:

- Sistema de vapor del tipo abierto: ciclo térmico abierto o simple. Su esquema se muestra en la figura (6-11).
- Sistema de vapor del tipo cerrado: ciclo térmico cerrado o ciclo Rankine. En este caso el vapor que sale de la máquina motriz es recuperado en un condensador, de donde el agua sale en estado líquido y es enviado a un tanque de alimentación de agua hacia la caldera. En estos sistemas se deben agregar pequeñas cantidades de agua para compensar las fugas (normalmente repre -

sentan no más del 5 % de lo requerido por la planta). En la figura (6-12) se ilustra el esquema de un sistema de vapor del tipo cerrado.

No todas las plantas de vapor son del tipo cerrado ;en algunos casos éstas son más económicas,pero en otros casos - existe dificultades para el condensado puesto que el condensador requiere de grandes cantidades de agua o aire para el enfriamiento.

6.2.4.1 El Generador de Vapor

En un generador de vapor o caldera que utiliza combustibles líquidos,la combustión se realiza en su interior;en cambio cuando se utilizan combustibles sólidos(p.e carbón,madera,etc) se requiere de un horno u hogar que puede estar separado o formando parte del cuerpo de la caldera .

Los gases calientes de la combustión,realizada en el horno ,pasan hacia la caldera propiamente dicha en donde transfieren su calor al agua circundante y luego salen a la atmósfera por medio de la chimenea . El suministro de aire para la combustión es introducido mediante un ventilador. Existen diversos tipos de calderas para combustibles sólidos ,sus características constructivas dependen del campo de aplicación de la planta ,presiones y temperaturas del vapor ,tipo de combustibles a utilizar,entre otros.

6.2.4.2 La Máquina Motriz

Es el elemento que transforma la energía térmica del vapor en energía mecánica de rotación.

Los tipos de máquinas motrices comunmente utilizadas son:

Máquinas de vapor alternativas o reciprocantes

Turbinas de vapor

- Máquina de Vapor Reciprocante

Simplemente conocida como máquina de vapor, consiste básicamente de un cilindro, un pistón y el mecanismo cigüeñal. La alta presión que acciona el pistón de trabajo en el cilindro es creado en la caldera a través del vapor; por tanto el cilindro es equipado con un mecanismo de válvulas que permite el ingreso y salida del vapor en el momento adecuado.

Las máquinas de vapor generalmente se caracterizan por tener arranque rápido, amplio rango de velocidad con rápida respuesta respectiva, bajo consumo de vapor, alto torque de arranque, gran capacidad de sobrecarga, larga vida útil, alto rendimiento, mínimo mantenimiento y fácil acceso para maniobrar sus partes.

Este tipo de máquinas motrices a su vez se clasifican bajo diferentes puntos de vista; el detalle al respecto y su elección se realiza en el capítulo 7.

- Turbina de Vapor

En una turbina de vapor elemental, la energía contenida en el vapor generalmente es transformada en energía de velocidad mediante toberas, de donde es impulsado hacia el rotor en forma de chorro caliente de vapor; así a la vez que se expande, origina un cambio de momentum angular en los álabes de dicho rotor logrando así generar energía mecánica.

Para alcanzar altos rendimientos ,la turbina debe girar a grandes velocidades; los primeros tipos alcanzaron velocidades de 30,000 RPM ,en la actualidad han sido disminuidas pero aún siguen siendo rápidas por lo que se exige un cuidadoso balanceo del rotor para prevenir niveles de vibración peligrosas. Este tipo de máquinas también se caracterizan por la exigencia de vapor limpio y continuo. Por tanto, a pesar de su simple diseño requiere de mucha práctica constructiva y tecnología metalúrgica de forma tal que su utilización se justifica en el rango de grandes potencias . . .

Para las capacidades y condiciones del presente estudio las máquinas de vapor se adecúan mejor. El detalle comparativo se muestra en el capítulo siguiente.

6.2.4.3 Sistema de alimentación de agua

En toda planta de vapor la alimentación de agua - hacia la caldera es forzada, con el fin de mantener la continuidad del flujo entrada de agua - salida de vapor.

Normalmente el agua de alimentación se impulsa mediante bombas que pueden ser de diversos tipos cuya selección depende de la presión de la caldera. Generalmente se eligen - bombas centrífugas, bombas alternativas de pistón, bombas rotativas ; también en algunos casos se utilizan inyectores. Otros elementos componentes del sistema de alimentación de agua son:

- El Condensador

Convierte el vapor de escape de la máquina motriz en agua

líquida para la alimentación de la caldera en sistemas - de vapor del tipo cerrado.

El condensador es un intercambiador de superficie que - puede utilizar agua o aire como fluido de enfriamiento.

La determinación de instalar un condensador en la planta obedece a criterios técnicos ,económicos y de la disponi**u**bilidad del fluido de trabajo-fluido de enfriamiento.

- Precalentadores

Con el fin de mejorar el rendimiento térmico de la planta muchas veces se instalan intercambiadores de calor entre el vapor vivo y/o de escape y el agua de alimentación a la caldera .Estos se denominan precalentadores de agua y su elección también obedece a criterios técnico-económicos.

6.2.4.4 El Generador Eléctrico

La energía mecánica producida en el eje de la máquina térmica de vapor es aprovechada en forma directa o indirecta (por transmisión), para accionar el generador de corriente eléctrica. Normalmente el generador eléctrico es una máquina de corriente alterna monofásica o trifásica ; las características de los dispositivos de excitación, regulación de tensión, protección y su selección se analizarán en el capítulo siguiente.

6.3 Imagen de las Plantas Dendrotérmicas frente a los sistemas convencionales dependientes del petróleo

6.3.1 Imagen mundial

Uno de los eventos más trascendentes en la historia energética mundial ocurre en los años 1,973- 1,974, cuando la OPEP (organización de los países exportadores de petróleo) acuerda el incremento súbito en los precios del petróleo de 1.00-1.20 USS/barril (precio fines de los 60) a 7.00 USS/barril en enero de 1,974 y en el resto del año Arabia Saudita los elevó cerca de 10.00 USS/barril . Esto originó una crisis energética mundial, más aún en países industrializados grandes importadores y consumidores de petróleo . Posteriormente se siguió una estabilidad de precios, que de pronto se vio interrumpida al estallar la revolución en Iran a fines de 1,978 y comienzos de 1,979, originando a que los precios oficiales de la OPEP en julio de 1,980 fluctuaran entre 28.00 USS/barril del ligero saudita hasta 32.21 USS/barril para el crudo argelino.

En tal situación, la fuerte dependencia del petróleo en los países importadores llevan al aprovisionamiento de este combustible, el desarrollo de otras fuentes energéticas , el retorno a las tecnologías anteriores y el uso racional de la energía . Así se llega a imponer modificaciones en la tecnología energética y cambios sustanciales en el comportamiento de productores y consumidores. .

De todo el contexto económico mundial se puede decir que de esta crisis energética ocasionada por el petróleo, perjudica en términos absolutos a los países en desarrollo, especialmente a los no productores de petróleo, quienes están supeditados a los aumentos de precio del petróleo y de la maquinaria y equipos dependientes de éste .

Por otro lado ,una de las características principales de los países en desarrollo es el centralismo socio-económico el que lo divide en contadas zonas urbanas o metrópolis, caracterizadas por fuertes presiones demográficas atraídas por la aparente actividad productiva y de desarrollo; y en una inmensa zona rural caracterizada generalmente por su marginación social ,política y económica ,pero que goza de la mayor concentración de recursos naturales.

Frente a esta situación, dentro de un esquema de desarrollo del sector rural especialmente de los países en vías de desarrollo, basado en la generación descentralizada de energía eléctrica ,las fuentes energéticas no convencionales ofrecen la mejor alternativa de aprovechamiento en bien del progreso y desarrollo de este sector.

La dendroenergía es una de las alternativas renovables y autóctonas con mayores posibilidades para la generación de energía eléctrica . El combustible leña, residuos forestales y agroindustriales obtenidos en el sitio presenta ventajas comparativas que van simultáneas desde el mejoramiento ecológico y ambiental hasta la autosuficiencia .En efecto ,una explotación forestal sistematizada garantiza su continuidad y sus efectos beneficiosos ,en tanto que se evita la transferencia de ingresos hacia otros sectores que implica la utilización de combustibles no autóctonos.

En la actualidad el interés por el desarrollo de la dendroenergía no solamente es propio de algunos países en forma individual sino que también existen organizaciones internacionales que promueven y apoyan en forma conjunta ,tales

como la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), la Comunidad económica europea (CEE), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) entre otras. Así también existen órganos financieros internacionales que tienen programas de apoyo económico orientado hacia los países en desarrollo , para la explotación racional de la biomasa forestal .

6.3.2 Imagen Nacional

El Perú , un país en desarrollo fuertemente dependiente del petróleo y minimamente productor de éste , posee grandes recursos energéticos no convencionales que se encuentran distribuidos con cierto predominio uno de otro de acuerdo a la ubicación geográfica de sus regiones; pero que lamentablemente no son aprovechados .

Refiriéndose solamente a la generación de electricidad en el sector rural peruano, en la actualidad la dependencia del petróleo es predominante, tanto que cuando se plantea satisfacer una demanda eléctrica inmediatamente se eligen pequeños grupos electrogenos diesel o de gasolina. Esta decisión ~~es la más~~ general en la Selva Baja en donde anteriormente se han electrificado muchos pequeños pueblos con estos medios pero que en la actualidad la mayoría están fuera de servicio, debido precisamente al encarecimiento y escasez del petróleo .

La Selva Baja , como se demostró anteriormente, es la región donde el recurso forestal es la mejor alternativa para la generación de potencia eléctrica, cuya imagen como solución

energética frente a los sistemas convencionales dependientes del petróleo es prácticamente irrefutable, por muchas razones entre ellas se tienen :

- Hasta el momento, el Perú no dispone de grandes reservas netas de petróleo tales que garanticen su autoconsumo y menos la exportación.
- La calidad del petróleo existente en nuestra amazonía incide en cierta manera sobre los costos de producción o refinamiento.
- La falta de vías de transporte barato y la dispersión de los pueblos de la región en estudio, hacen que los precios de venta de este combustible fósil lleguen sobrevalorados respecto de sus precios oficiales.
- La falta de una política racional de precios fijados por el estado y a la vez el estricto control en la distribución.

6.3.3 Características comparativas entre Plantas Dendrotérmicas y Grupos Electrógenos

Con la finalidad de poder elegir el tipo de tecnología a utilizar para la generación de energía eléctrica a la escala y las condiciones requeridas en el área de estudio, a continuación se hace un análisis comparativo entre las ventajas que ofrecen las plantas dendrotérmicas frente a los grupos electrógenos diesel.

Ventajas de las Plantas Dendrotérmicas:

- La gran disponibilidad de combustible biomásico tanto en cantidad como en calidad hacen que los costos de producción de electricidad sean comparativamente me-

nores

- La existencia en el mercado internacional de esta tecnología que vá en crecimiento y competitividad debido al interes mundial por el aprovechamiento de las fuentes no convencionales, cuyas corrientes fluyen desde los países desarrollados hacia los países en desarrollo en su afán de sustituir al combustible petróleo.
- Al ser la biomasa forestal una fuente energética renovable ,hace que a lo largo de la vida de funcionamiento de la planta, los costos del combustible experimenten una disminución gradual y por ende la reducción en los costos de producción de energía final.
- Las centrales dendro-térmicas pueden funcionar optimamente dentro de un amplio rango de tipos de combustibles biomásicos alternos a la leña ,tales como residuos agrícolas ,agroindustriales ,pecuarios,etc ; - los cuales pueden alternarse o sustituir al combustible principal de acuerdo a los beneficios técnicos y económicos.
- La adaptación de estas plantas al uso de combustibles convencionales (diesel, carbón minéral, gas natural , etc), es viable técnica y económicamente .Esto es conveniente en el caso en que dichos combustibles aparecieran como sustitutos temporales.
- La aplicación de plantas dendrotérmicas en lugares remotos con abundante biomasa forestal conlleva más rapidamente al desarrollo integral de sus habitantes

- ,pues el hecho mismo de utilizar los recursos energéticos autóctonos crea una mayor y mejor interrelación socio-económica .
- Esta tecnología se caracteriza por su simplicidad en su diseño y la constitución estructural, lo cual puede llevar dentro de un plazo cercano a la construcción parcial y/o total con materiales, insumos e ingeniería nacional
- La simplicidad en lo que respecta a su operación y mantenimiento ,y la alta confiabilidad (especialmente de las plantas de combustión directa), permiten que no se requiera de mano de obra altamente calificada; esto favorece al alcance técnico de lugares alejados y la reducción de costos de energía generada.
- En la plantas dendrotérmicas ,luego de ser quemado el combustible biomásico quedan como residuos las cenizas .Estos elementos constituyen un excelente abono ,pues al ser utilizados como tal devuelven las sales minerales al suelo,mejorando así la fertilidad y por ende la productividad del bosque energético.
- Como se demostrará posteriormente,los grupos electrógenos se caracterizan,su alta eficiencia de conversión energética y sus relativos bajos costos de adquisición comparados con las plantas dendrotérmicas; pero, es la diferencia de costos y la disponibilidad del combustible en la región en estudio lo que hace que los costos de producción de energía final (mecánica y/o eléctrica) sean más bajos mediante este

segundo sistema de generación .

- La vida útil de las plantas dendrotérmicas son comparativamente mayores que de los grupos electrógenos , incluso para el caso de las plantas de combustión - directa superan normalmente los 25 años mientras que los últimos no sobrepasan los 10 años.
- Los grupos electrógenos son bastante sencibles a las condiciones ambientales del medio donde se instalan, pues el funcionamiento fuera de las condiciones recomendadas afectan adversamente a su potencia y rendimiento; en cambio, en las plantas dendrotérmicas de combustión directa, especialmente, la influencia del medio es mínima .

6.4 Elección de la Mejor Alternativa Dendrotérmica

Los dos tipos de plantas dendrotérmicas analizadas, se caracterizan fundamentalmente por las diferencias en sus - principios de funcionamiento y la correspondiente tecnología ~~de~~ constructiva . Esto a su vez conlleva a diferencias funcionales referidas a los aspectos técnico, energético, social y del medio ambiente. En este sentido , para seleccionar la mejor alternativa dendrotérmica , se realiza una comparación a igualdad de potencia requerida (para este caso 160 KW) entre las ventajas que ofrece la planta A respecto de la planta B , donde :

Planta A : Planta Dendrotérmica de combustión directa compuesta por caldera de leña - máquina de vapor, para potencias de 150 - 200 KW.

Planta B : Planta Dendrotérmica de gasificación compuesta por gasificadores, que de acuerdo a las características mostradas en 6.1.2 para las potencias requeridas, pueden ser gasificadores de corriente ascendente o de corriente descendente

6.4.1 Punto de vista técnico

Operación

Las plantas A ofrecen mayor simplicidad en el control y manipulación de todos sus componentes. El combustible puede ser manualmente introducido al horno y su procesamiento previo (secado y fraccionado), comparativamente es menos estricto ; mientras que las plantas B requieren de fraccionamiento mínimo y homogéneo del combustible leña , aunque es más recomendable utilizar carbón vegetal (secado molido y cribado) con el fin de mejorar el rendimiento y la seguridad de funcionamiento del gasificador . Así también se requiere de un adecuado control y manipulación en todo el sistema de generación de gas pobre. Para condiciones de operación en cargas parciales , las plantas A son más eficientes.

Mantenimiento

En las plantas A, la frecuencia de mantenimientos correctivos son comparativamente más largos y de mayor facilidad ; esto se debe básicamente a su constitución estructural frente a sus características de funcionamiento.

Su simplicidad en la operación y mantenimiento permiten que no se requiera mano de obra altamente calificada ;que, junto a lo anterior hacen que los costos variables sean más reducidos.

Vida Util

Las plantas A tienen mayor vida útil que las plantas B . Quién lo caracteriza es el sistema caldera-máquina de vapor ,pues no es raro que según experiencias obtenidas una máquina de vapor continúe funcionando perfectamente por más de 50 años.

Estas plantas normalmente pueden superar los 25 años de vida útil ,a lo que en las plantas B su vida depende del grado de limpieza del gas pobre.

6.4.2 Punto de Vista Energético

Las plantas A pueden utilizar cualquier tipo de combustible adicional (residuos forestales, agrícolas , agroindustriales y hasta pecuarios) con mejor aprovechamiento energético que en las plantas B .

En cuanto al funcionamiento a cargas parciales las plantas A tienen un amplio margen de operación y con mayores rendimientos.

Estas plantas pueden acondicionarse continua o temporalmente a la cogeneración ;es decir parte del vapor vivo o excedente puede utilizarse en procesos-térmicos (secado, acondicionamiento de aire, etc), y la línea principal a la generación de potencia. Esto

amplía ,con mayores posibilidades,el campo de aplicación hacia el sector industrial agrícola y forestal ubicado en toda la región de la Selva Baja.

Las plantas A pueden adaptarse con mayor facilidad y ventajas técnico-económicas, a la utilización de combustibles convencionales (petróleo, carbón mineral, gas natural ,etc).

6.4.3 Punto de vista de Salud y Medio Ambiente

Las plantas A se caracterizan por no atentar contra la salud humana y el medio ambiente donde se ubica. El hecho mismo de ser una planta de combustión directa, el quemado completo de la leña en el horno garantiza la mínima emisión de monóxido de carbono , gas que en cantidades no moderadas es altamente tóxico para la salud .También los porcentajes de óxido de azufre en los gases productos es mínimo(característica propia del bajo contenido de azufre dentro los combustibles biomásicos forestales), lo cual garantiza la conservación silvícola ,la fauna y el medio ambiente. En el caso de las plantas B el efecto contaminante queda a la expectativa, pues su factibilidad se identifica con la mayor producción de gas pobre (mayor cantidad de monóxido de carbono) debidamente enfriado ,purificado y hermeticamente conducido hacia el motor de combustión interna; hecho que ,para las condiciones de requerimiento del presente estudio su aplicación llevaría a una etapa de experimentación .

La ineficacia en la construcción y la operación de las plantas B pueden conducir a los siguientes riesgos :

toxicidad

incendio

explosión

contaminación ambiental

Las plantas A poseen un menor nivel de ruido.

Las condiciones del medio ambiente, niveles de temperatura, densidad, humedad, etc, no afectan el funcionamiento normal de las plantas A, mientras que en las plantas B los efectos actúan adversamente sobre su potencia y rendimiento, especialmente del motor de combustión interna.

6.4.4 Punto de Vista de Aceptación Social

El nivel de aceptación por parte de la comunidad es mayor que para el caso de las plantas B , por las siguientes razones :

-Simplicidad del equipo en general.

-Simplicidad de operación y mantenimiento

-Existencia de mano de obra con mucha experiencia en la generación de vapor

-Existencia de manufactura nacional en calderos que queman diversos combustibles alternativos al petróleo.

-Experiencia en la operación con máquinas de vapor en diversas industrias (forestales, azucare-

ras ,etc) .

Finalmente ,dada la comparación entre ambas plantas dentro y además teniendo en consideración las condiciones generales de la zona de influencia,se propone que la elección del tipo de planta sea :

- Plantas dendrotérmicas de gasificación: para potencias - inferiores a 100 KW,como unidades compactas o sistemas.
- Plantas dendrotérmicas de combustión directa-caldero de leña -máquina de vapor : para potencias eléctricas entre 100 y 500 KW,como unidades compactas .

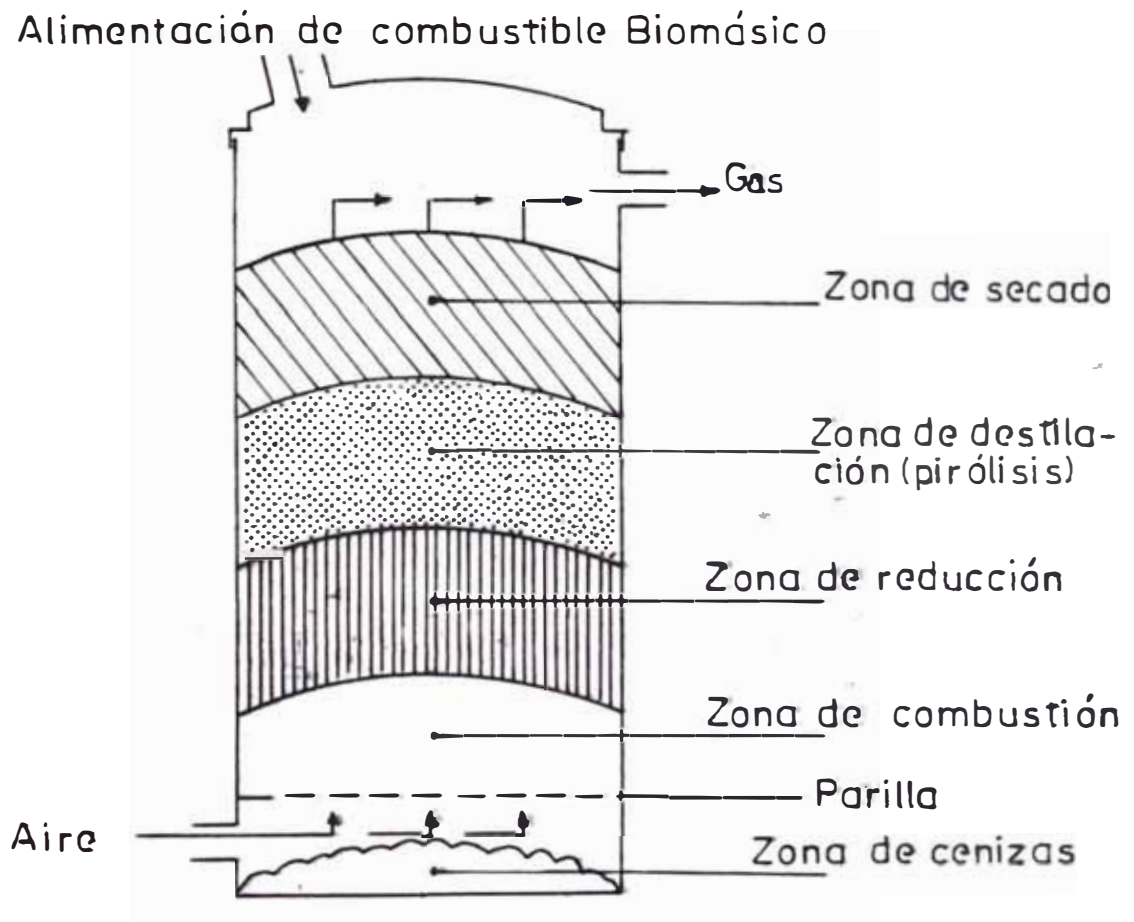


Fig.(6-1) GASIFICADOR DE CORRIENTE ASCENDENTE
O DE CONTRACORRIENTE

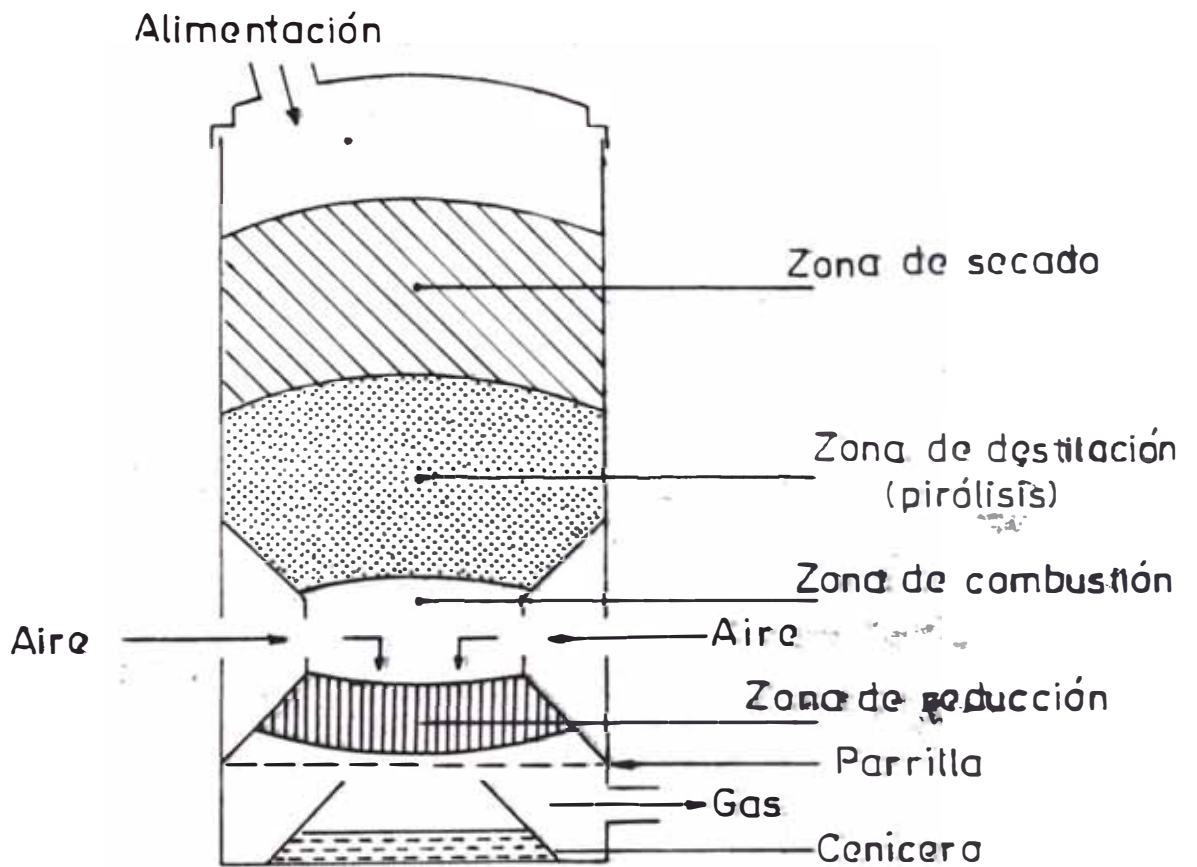


Fig (6 2) GASIFICADOR DE CORRIENTE
DESCENDENTE

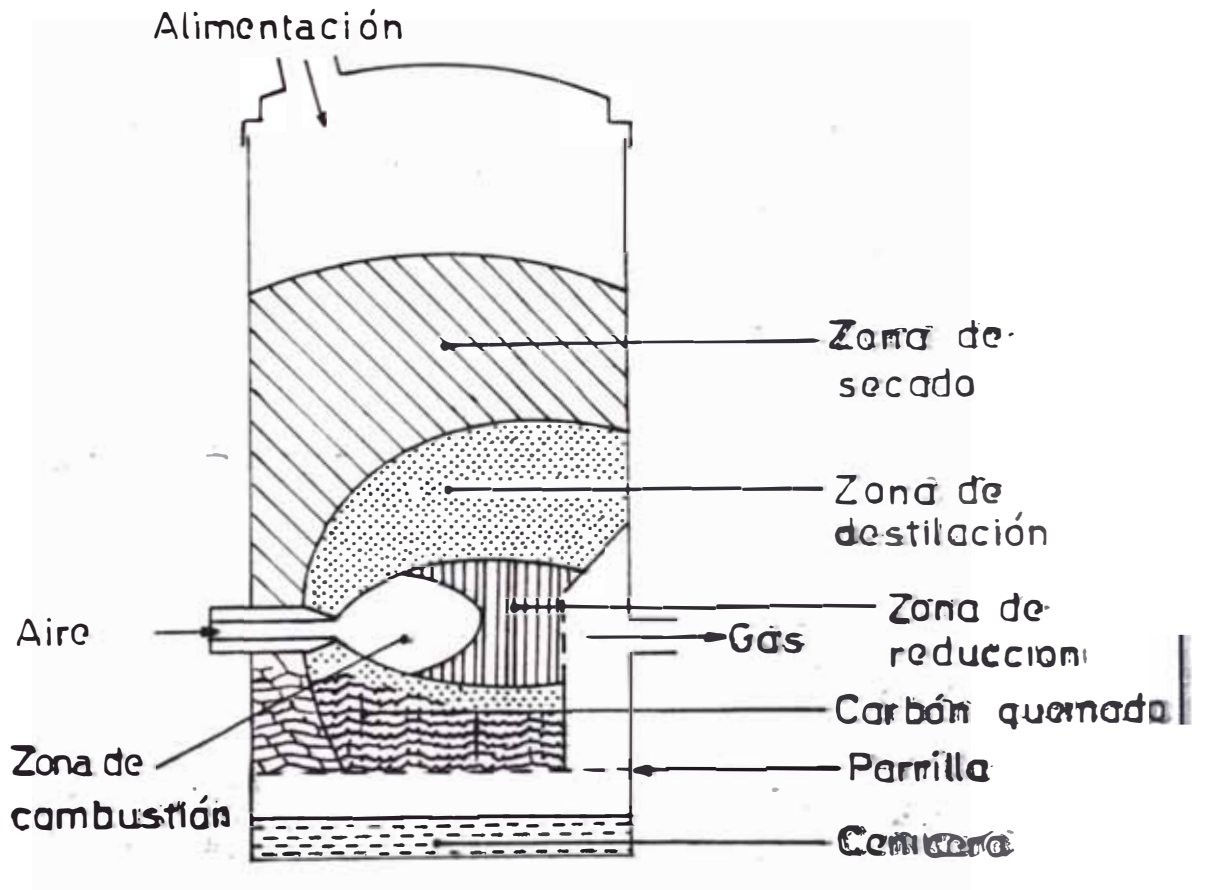


Fig.(16-3) GASIFICADOR DE CORRIENTE CRUZADA

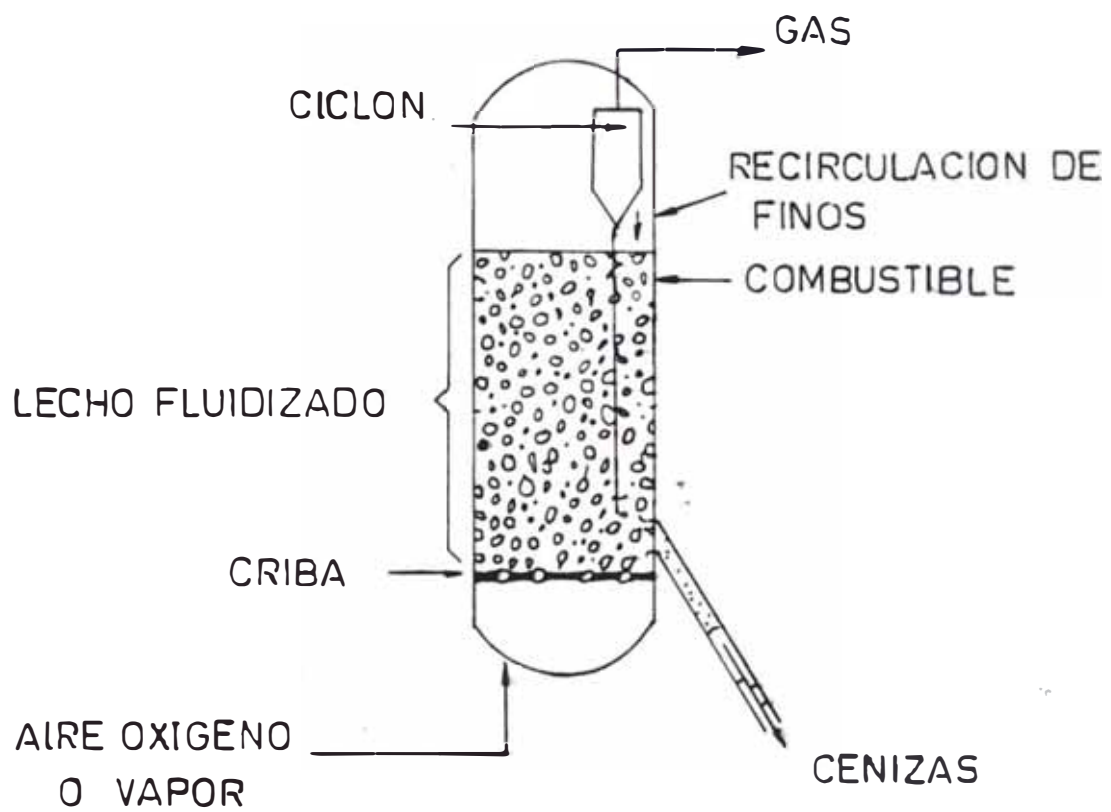


Fig.(6-4) GASIFICADOR DE LECHO FLUIDIZADO

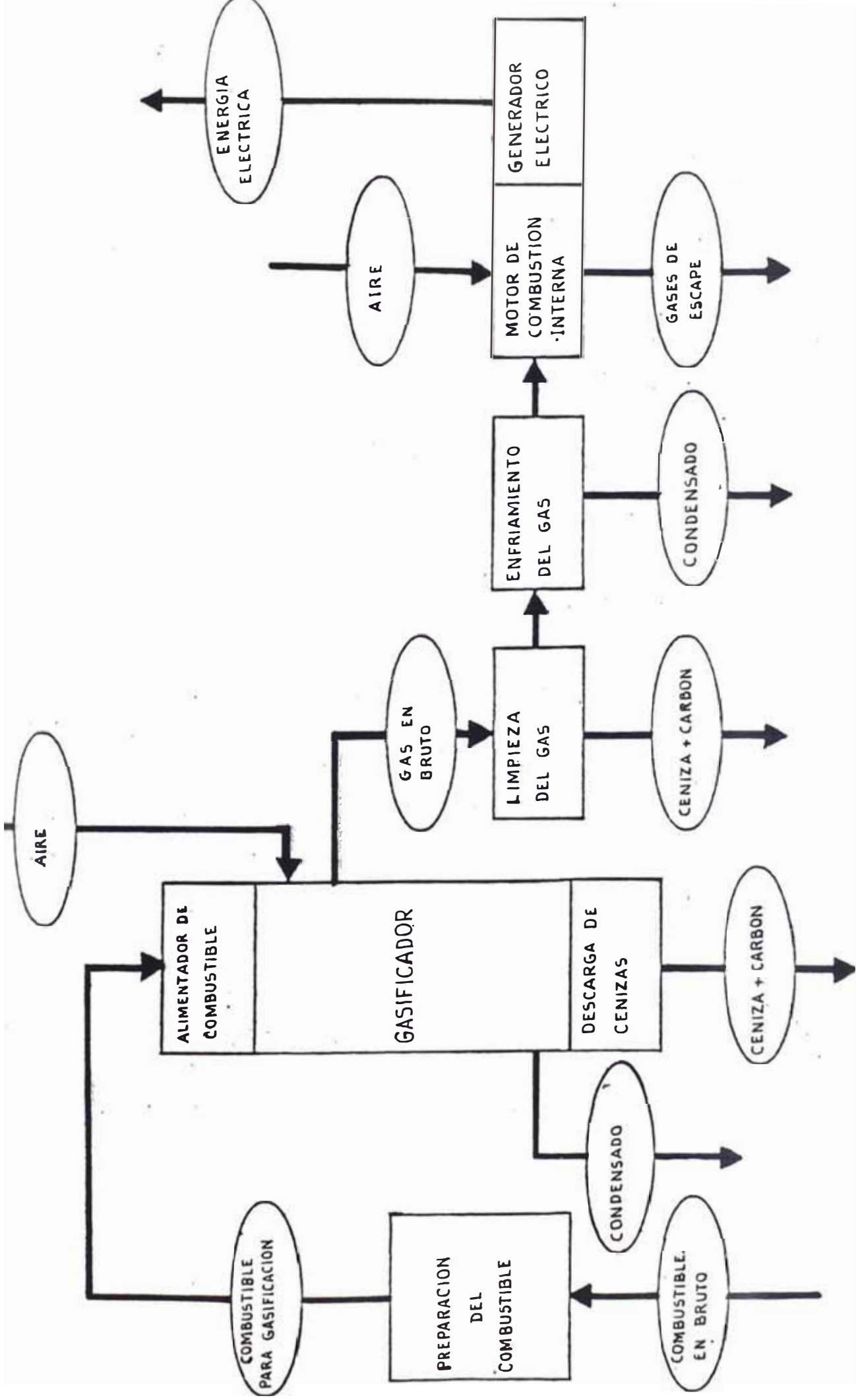
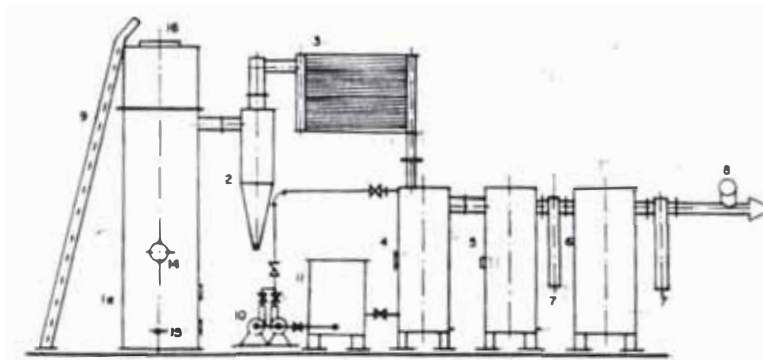


FIG. (6-5) ESQUEMA PRINCIPAL DE UNA PLANTA ELECTRICA MEDIANTE GAS POBRE

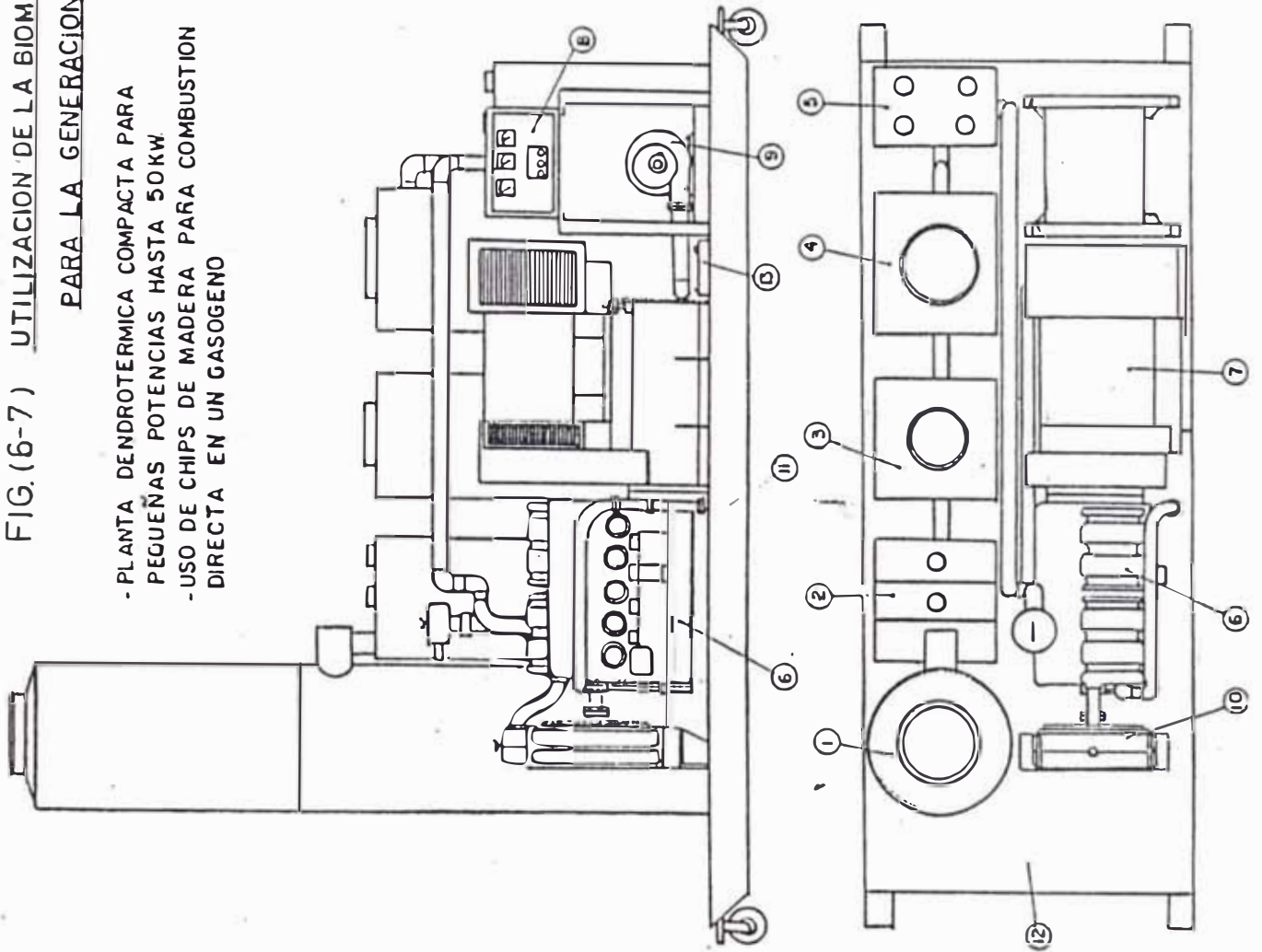


PH. (6-6). PROYECTO CHILINA
(CARBÓN VEGETAL O LEÑA)

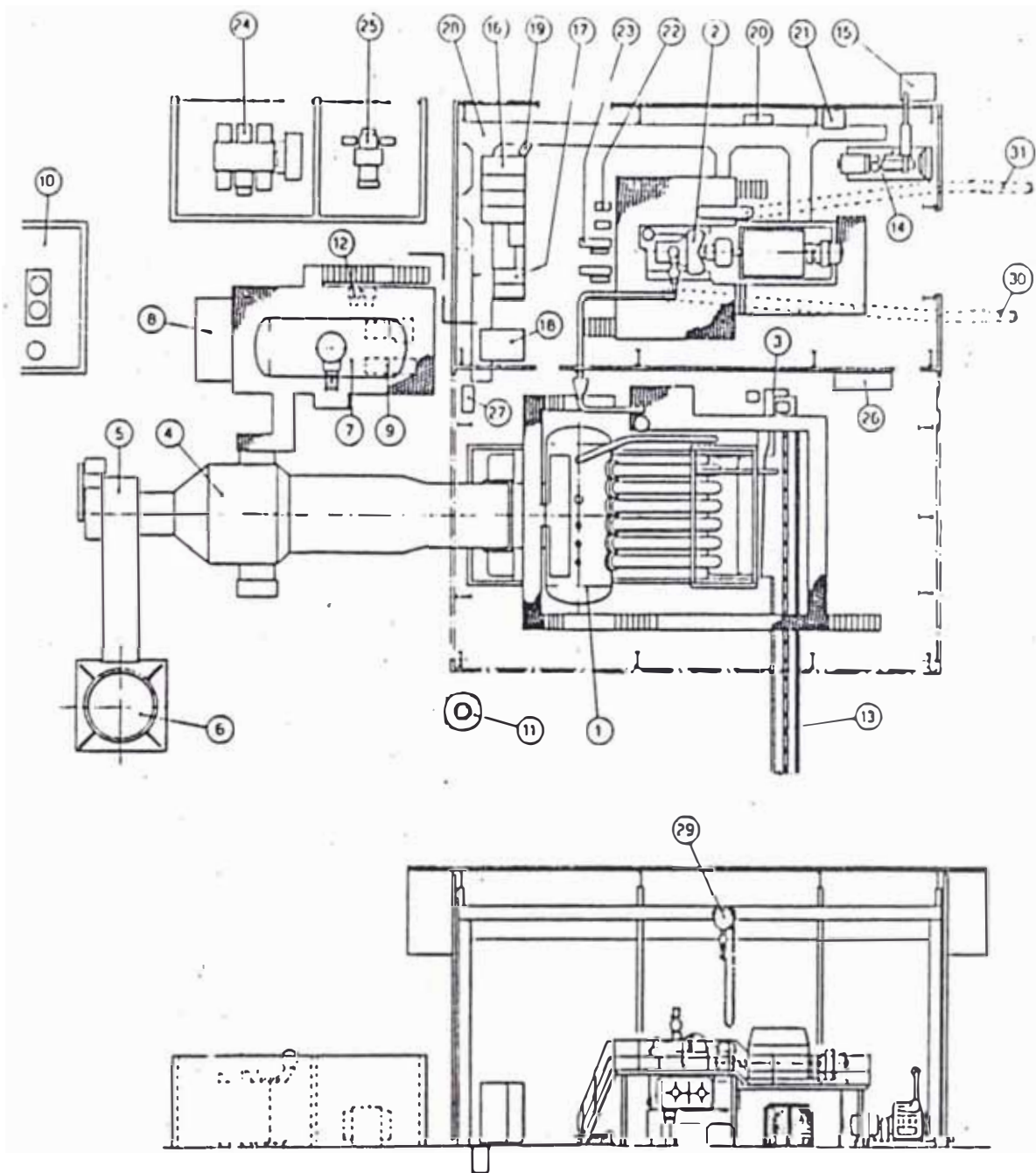
- | | |
|-----------------------------------|--|
| 10 GASÓGENO CORRIENTE DESCENDENTE | 9 ESCALERA |
| 2 CICLÓN | 10 BOMBA |
| 3 RADIADOR | 11 TANQUE DE AGUA |
| 4 FILTRO DE AGUA | 12 LAVADORES DE GAS |
| 5 FILTRO PURIFICADOR | 13 TOLVA DE INGRESO DEL CARBÓN VEGETAL |
| 6 FILTRO DE ARRIBES | 14 TOMA DE AIRE |
| 7 TRAMPA DE AGUA | 15 CENICERO |
| 8 MEZCLADOR | 16 TAPA DE INGRESO DEL CARBÓN VEGETAL |

FIG. (6-7) UTILIZACION DE LA BIOMASA FORESTAL
 PARA LA GENERACION ELECTRICA

- PLANTA DENDROTERMICA COMPACTA PARA
 PEQUEÑAS POTENCIAS HASTA 50KW
- USO DE CHIPS DE MADERA PARA COMBUSTION
 DIRECTA EN UN GASOGENO



Nº	DESCRIPCION	CAN. MAJ
13	BATERIA	
12	PLATAFORMA	
11	ESTRUCTURA	
10	RADIADOR	
9	ASPIRADOR DE ARRANQUE	
8	TABLERO ELECTRICO	
7	GENERADOR	
6	MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	
5	DISTRIBUIDOR DE GAS	
4	FILTRO SECUNDARIO	
3	FILTRO PRIMARIO	
2	SEPARADOR DE LIQUIDOR	
1	GASIFICADOR DE LEÑA	



- | | | |
|--|---|--|
| 1 Caldera | 12 Bombas Impelentes de reposición | 22 Bomba de extracción de condensador |
| 2 Turbogenerador de 3MW | 13 Transportador de combustible | 23 Bombas de vacío |
| 3 Ventilador de tiro forzado | 14 Generador diesel de puesta en marcha | 24 Transformador de distribución de 4 MVA |
| 4 Economizador | 15 Tanque diario de fueloil | 25 Transformador de central de 400KVA |
| 5 Ventilador de tiro Inducido | 16 Tablero de control de 4,16 KV | 26 Panel de caldera |
| 6 Chimenea | 17 Tablero de control de 480 V | 27 Compresor de aire |
| 7 Desaireador | 18 Resistior de tierra neutra | 28 Zanjas de cable |
| 8 Depósito de almacenaje de agua de alimentación | 19 Panel sincronizador | 29 Elevador de 5 toneladas métricas de capacidad |
| 9 Bombas de alimentación de caldera | 20 Panel de turbinas | 30 Entrada de agua refrigerante |
| 10 Planta de tratamiento de agua | 21 Panel de control de generador diesel | 31 Salida de agua refrigerante |
| 11 Tanque de purga por soplado | | |

Fig. (6-8). Distribución general de una central de electricidad a leña de 3 MW.

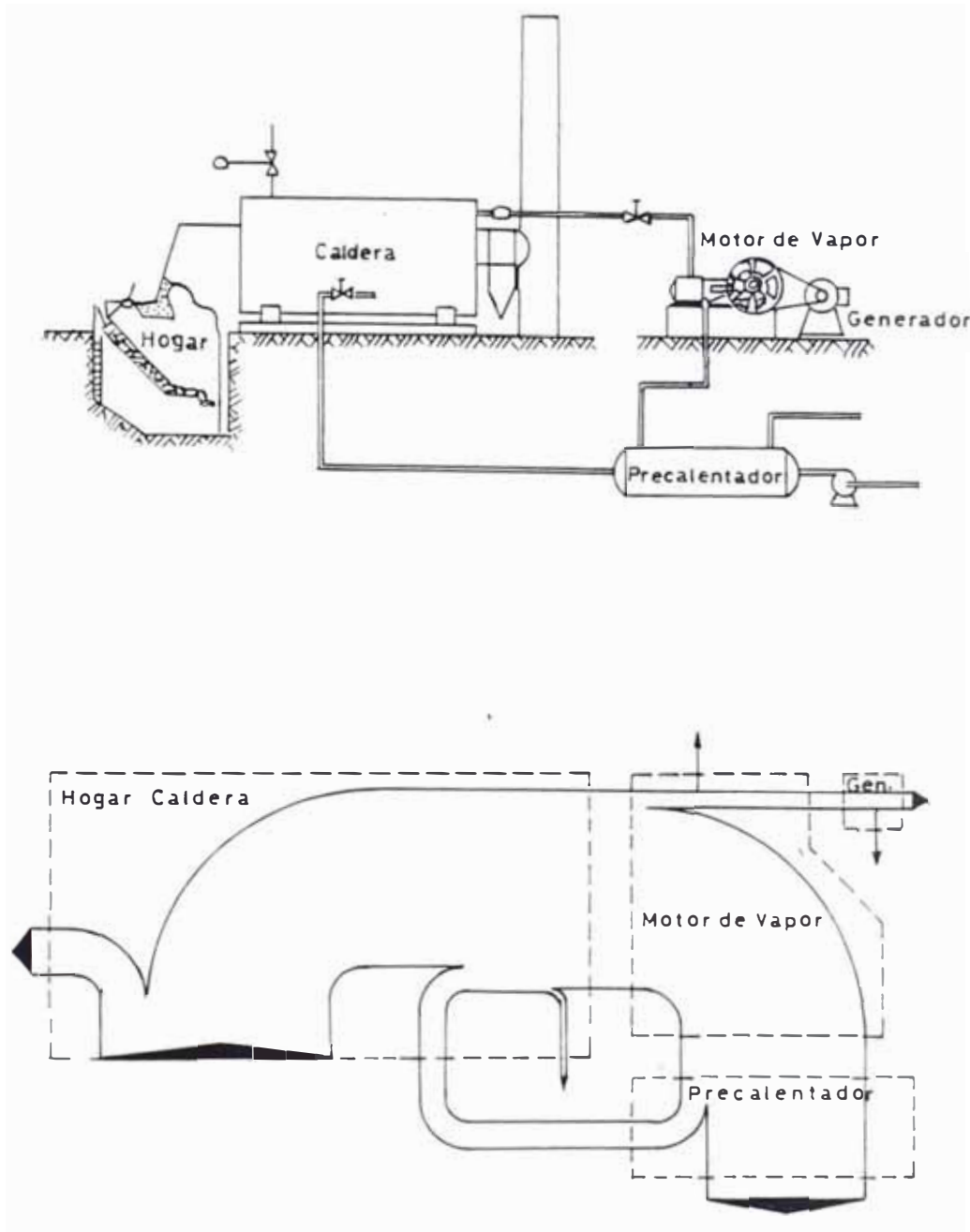


fig. (6-9) Esquema Planta de Generación de Energía Eléctrica a Vapor

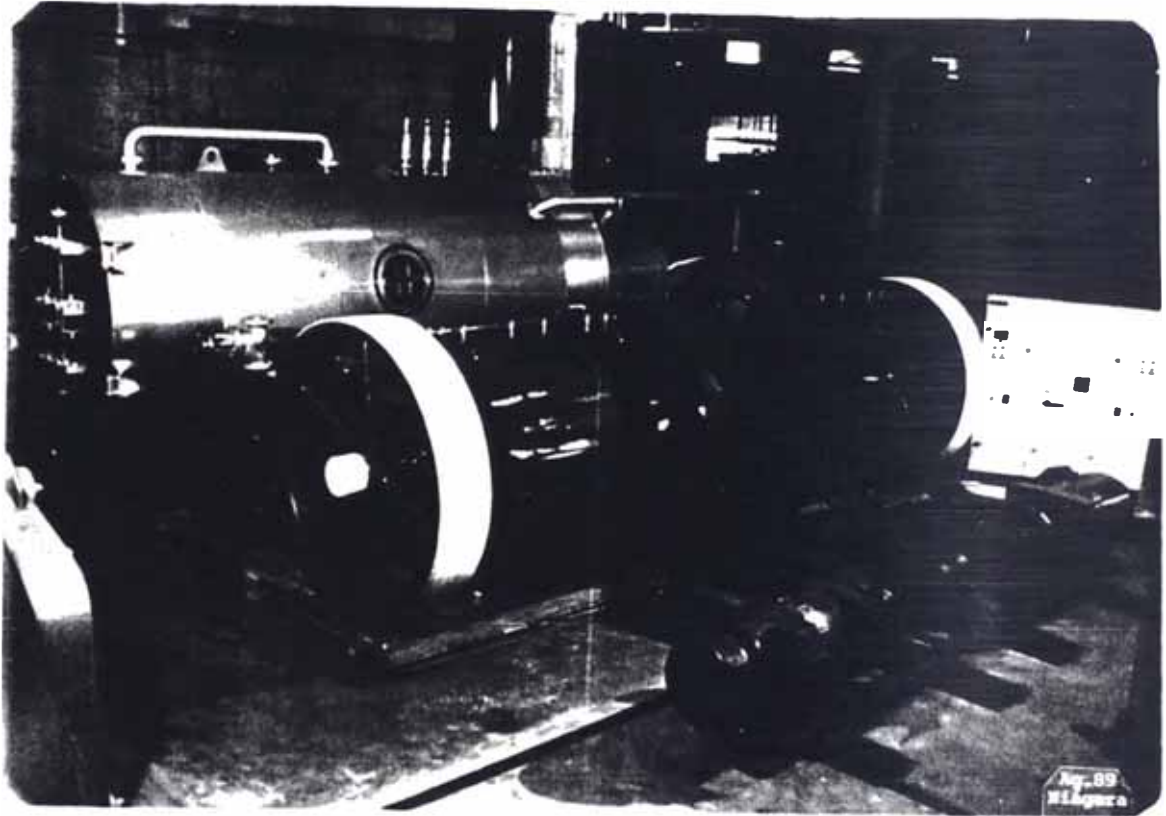
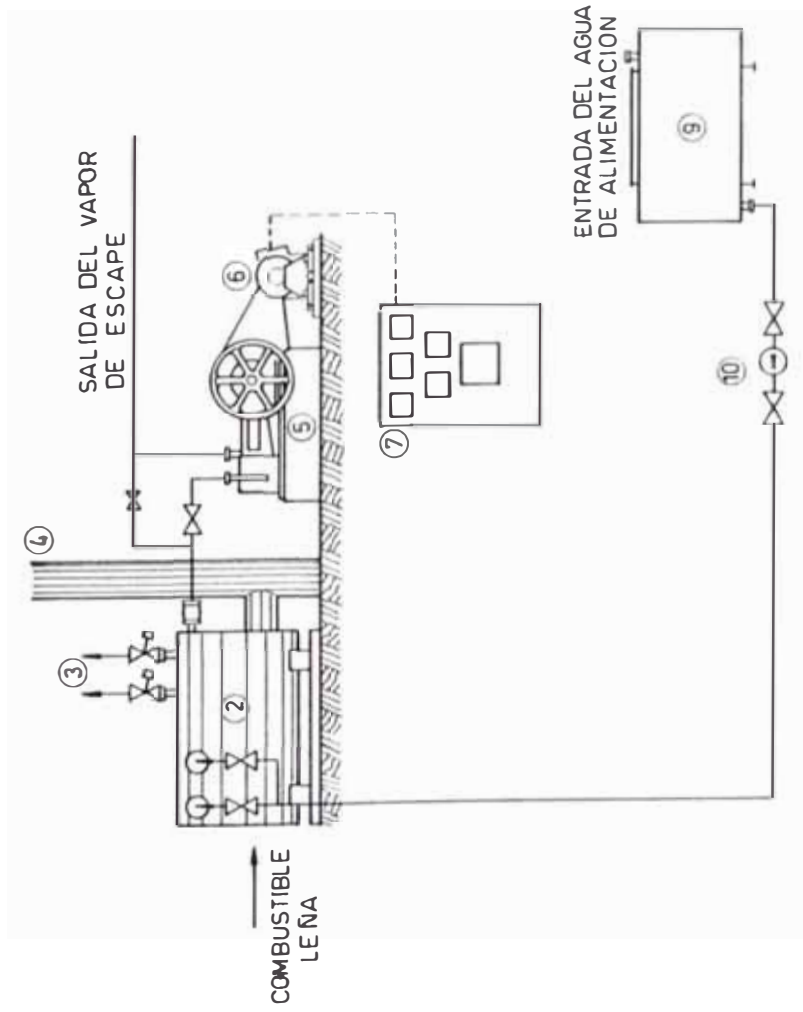


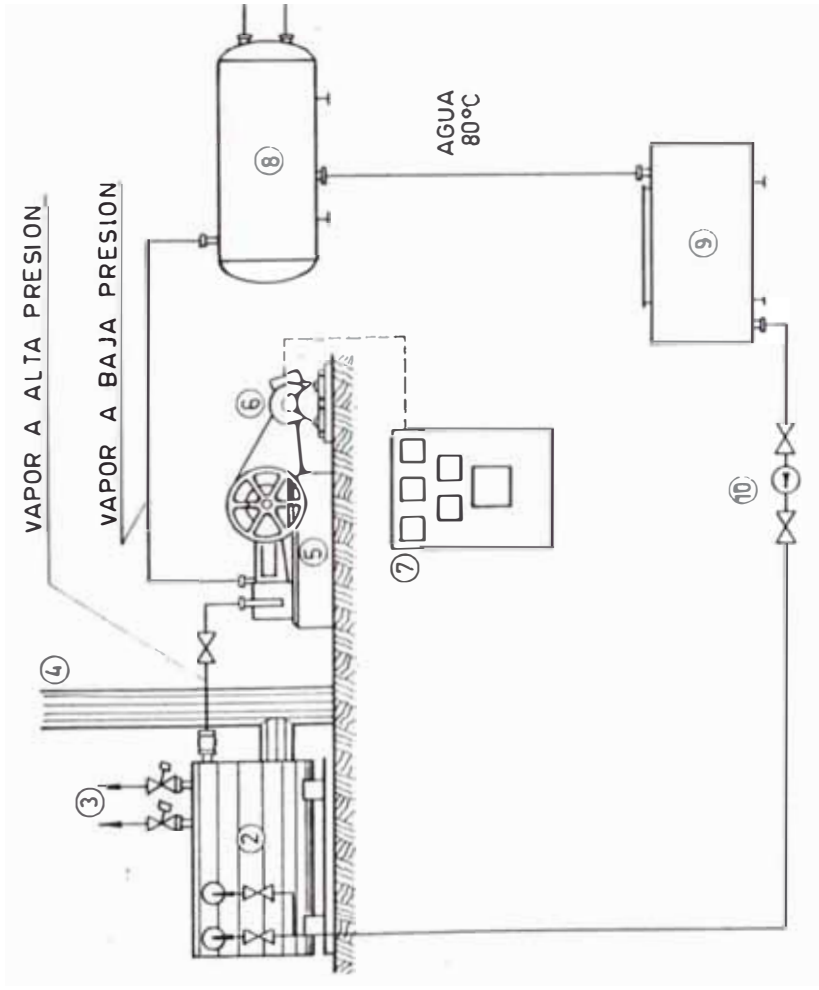
FIG. (6-10) FOTO DE UNA PLANTA DE GENERACION ELECTRICA
"MERNAK" DE 400 KW



LEYENDA

- 2) GENERADOR DE VAPOR.
- 4) CHIMENEA
- 5) MAQUINA DE VAPOR
- 6) ALTERNADOR
- 7) TABLERO ELECTRICO
- 9) TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACION
- 10) BOMBA DE ALIMENTACION DE AGUA

FIG(6-11) SISTEMA DE VAPOR DE TIPO ABIERTO



LEYENDA

- 2) GENERADOR DE VAPOR
- 4) CHIMENEA
- 5) MAQUINA DE VAPOR
- 6) ALTERNADOR ELECTRICO
- 7) TABLERO
- 8) CONDENSADOR
- 9) TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACION
- 10) BOMBA DE ALIMENTACION

FIG(6-12) SISTEMA DE VAPOR DEL TIPO CERRADO

C A P I T U L O 7

PLANTA DENDROTERMICA CON SISTEMA CALDERA DE LEÑA-- MAQUINA DE VAPOR PARA CUBRIR DEMANDA DE 160 KW_e

7.1 Generalidades

Una vez conocidos ,la magnitud y características de - la demanda eléctrica de la localidad en estudio ,la evaluación y comprobación de su gran disponibilidad de recurso - energético forestal y, la elección del tipo de tecnología dendrotérmica para la generación de electricidad ;corres - ponde analizar ~~en este~~ capítulo,el detalle técnico de ca - da uno de los sistemas componentes de esta planta así como también la evaluación y preparación del combustible biomá - sico requerido.

El análisis en detalle,del presente, tiene la finalidad de abarcar los criterios técnicos que lleven a una adecuada - selección e identificación operativa de cada uno de los e - quipos componentes de la planta dendrotérmica,acordes a la existencia en el mercado nacional e internacional y orien - tados hacia la posibilidad de diseño y construcción inte - gral en nuestro medio. Asimismo se dan los criterios para la explotación forestal a la capacidad requerida por la - planta específicamente.

7.2 Sistema de Generación de Energía Mecánica

7.2.1 Elección de la Máquina Motriz

En el capítulo anterior se ha mostrado el principio de funcionamiento y algunas características de los dos tipos de máquinas motrices conocidas:

.Máquina de Vapor Reciprocante, o simplemente, Máquina de Vapor.

.Turbina de Vapor

El rango práctico competitivo de utilización de las máquinas de vapor en comparación con las turbinas de vapor se encuentran entre 10 KW y 5,000 KW ,siendo aún más económicos en el rango de 50 a 500 KW .

Para poder elegir el tipo de motor térmico ,a continuación se hace una comparación entre ambos ,a igualdad de capacidad y condiciones propias del proyecto :

- El rendimiento de una máquina de vapor se mantiene casi constante a un valor máximo ,dentro de un amplio rango de potencia disponible,permitiendo así operar a cargas parciales con valores óptimos de eficiencia. Esta característica favorece a que la planta pueda funcionar optimamente con cargas menores a las proyectadas,de acuerdo al crecimiento de la demanda eléctrica a lo largo de la vida del proyecto.En cambio en la turbina de vapor su rendimiento
- en promedio es menor cuando se trata de operación a cargas parciales.
- Las máquinas de vapor utilizan normalmente 40 % me

nos vapor que las turbinas, para una misma capacidad de generación ;o también se puede decir que con una misma cantidad de vapor la máquina de vapor produce más energía mecánica, cuya magnitud varía de acuerdo al diseño de cada fabricante.

- Las máquinas de vapor no son muy sensibles a la calidad del vapor (contenido de humedad ,pureza),por el contrario las turbinas exigen vapor limpio y humedad mínima.
- En casos donde, la presión de escape del vapor desde la máquina motriz es mayor que la presión atmosférica (contrapresión) ,la eficiencia de las máquinas de vapor comparativamente son mayores que de las turbinas ,lo que se manifiesta especialmente al trabajar con cargas parciales. Estos casos se dan normalmente en plantas de vapor de ciclo abierto (sin condensador) .
- La estructura y el funcionamiento mismo de las máquinas de vapor hacen que estas sean más tolerantes a cualquier contaminación química dentro de las calderas.
- Las máquinas de vapor tienen mayor capacidad de adaptación a las sobrecargas que las turbinas de vapor. Pueden ser incrementadas por encima del 20 % de su carga nominal sin causar efecto negativo alguno.
- El bajo rango de velocidad y el diseño conservador ,propio de las máquinas de vapor aseguran alta confiabilidad.

fiabilidad y larga vida útil con mínimo mantenimiento .Generalmente la vida útil de una máquina de vapor sobrepasa los 30 años. En cambio las turbinas de vapor se caracterizan por tener altas velocidades y requerimiento de vapor con altas presiones y temperaturas lo que lleva a operar en condiciones más forzadas .Como consecuencia requieren de un diseño más sofisticado en cuanto a su estructura metalúrgica y su acabado.

- La operación y mantenimiento de las máquinas de vapor son comparativamente más sencillas y baratos ; pues no requieren de mano de obra altamente calificada ni de muchos elementos de reemplazo e insumos.
- En el Perú existe experiencia en el uso de las máquinas de vapor, en la costa los ingenios azucareros y en la selva las industrias de la madera, entre otros ;lo cual garantiza en cierta medida no solo la destreza en la operación y mantenimiento sino también la factibilidad de su fabricación local.
- Las máquinas de vapor frente a las turbinas de vapor, no requieren de altas exigencias metalúrgicas y de diseño ;esto conlleva, junto a lo anterior, a las posibilidades de fabricación en el corto plazo con material e ingeniería local.
- Si bien las turbinas de vapor se caracterizan por su compacticidad y livianez (menor espacio y peso) ,comparativamente, para las condiciones de nuestro

proyecto estos factores no son tanto indispensables como por ejemplo la confiabilidad, la sencillez de manejo, alto rendimiento, que son características propias de las máquinas de vapor.

- Dada las posibilidades de utilización de las máquinas de vapor en la generación de potencia con el aprovechamiento de la biomasa forestal, a la vez, existen actualmente en el mercado internacional firmas que fabrican este tipo de plantas accionadas exclusivamente con máquinas de vapor estandarizadas. Al momento, generalmente no existe en el mercado turbinas de vapor estandarizadas para el rango de bajas potencias.

Bajo la misma óptica de solución de problemas energéticos mediante recursos de energía alternativos al petróleo, la máquina de vapor se encuentra ultimamente en etapas de investigación y desarrollo, con el fin de aumentar su rendimiento técnico y bajar sus costos de fabricación. En la actualidad existen firmas fabricantes de máquinas de vapor cuya línea ha alcanzado grandes avances, donde bajo la concepción de una combinación ingeniosa entre la máquina de vapor clásica y el motor de combustión interna (Diesel u Otto) se ha logrado:

- .Bajar los costos de inversión al nivel de los motores de combustión interna.
- .Aumentar la eficiencia de expansión con respecto a las turbinas de vapor.

.Sencilles, lo que conlleva a ser una tecnología apropiada para países en desarrollo, industrias alejadas, etc.

En el Apéndice 2 se presenta la información técnica resumida de dos firmas fabricantes de máquinas de vapor : SKINNER de USA donde se están fabricando las máquinas de vapor multicilíndricas DELTA , y la firma alemana SPILLINGWERK donde se fabrican unidades seccionables estandarizadas.

- En plantas donde el vapor generado se utiliza para procesos térmicos y generación de potencia eléctrica , las máquinas de vapor son más convenientes. Así de esta forma se amplía el campo de utilización no solo a plantas industriales aisladas tales como refinerías , aserraderos , papeleras, etc sino también al uso en plantas industriales donde existen altas presiones de expulsión de vapor tales como plantas petroquímicas , plantas textiles, plantas de procesamiento de alimentos, etc. Acá las máquinas de vapor se comportan como "válvulas reductoras de presión" a la vez que generan potencia, logrando así - el aprovechamiento energético óptimo de planta.

Realizado el análisis comparativo , para las condiciones del proyecto se elige a la máquina de vapor como la máquina motriz de la planta.

7.2.2 Clasificación de las máquinas de vapor

Las máquinas de vapor se pueden clasificar de acuerdo a sus características constructivas en relación con el servicio que deban prestar y su economía de funcionamiento. En este sentido se tiene :

- De acuerdo al número de caras del embolo sobre las que obra el vapor, se tienen :

Máquina de Vapor de Simple Efecto

El vapor actúa únicamente sobre una cara del émbolo.

Máquina de Vapor de Doble Efecto

El vapor actúa sobre ambas caras del embolo, logrando así dos tiempos útiles por cada revolución del cigueñal ; es decir cada cara del embolo produce un trabajo similar por cada revolución. Este tipo de máquinas es más generaliza por lo que en la actualidad son de mayor fabricación

- Del punto de vista de la disposición del eje geométrico longitudinal de la máquina ,se tienen :

Máquina de Vapor Horizontal

Cuando el eje geométrico del cilindro es horizontal. Esta disposición es la más práctica , presenta las ventajas de una gran estabilidad, fácil acceso a todos los elementos y comodidad para la conservación y vigilancia; y respecto a sus desventajas, requiere de amplio espacio y, desgaste desigual de las superficies rozantes.

Su diseño es tradicional , operan a bajas velocidades (240 RPM) y son aptas para operar con vapor saturado o sobrecalentado. Actualmente se fabrican estas máquinas para un rango de generación de potencia de 50 a 200 KW con re

querimiento de vapor a presiones y temperaturas que alcanzan a 14 Bar y más de 270 °C respectivamente. En cuanto a la disposición pueden instalarse descansando sobre la caldera (locomóviles horizontales) ó fuera de esta.

Máquina de Vapor Vertical

El eje del cilindro es vertical. Esta disposición tiene ventajas en cuanto al espacio reducido para su instalación y el menor desgaste en el mecanismo. Para facilitar la estabilidad se lea puede reducir la carrera con lo que se aumenta la velocidad angular, comparativamente a igual potencia con una máquina horizontal.

En la actualidad se fabrican máquinas verticales lentas y rápidas. Las verticales lentas son generalmente de doble efecto, alcanzan velocidades entre 350 a 450 RPM y potencias de hasta 2,400 KW. Las máquinas verticales rápidas son diseñadas para potencias de 10 a 1,800 KW, velocidades de 750 a 1,500 RPM con presiones y temperaturas del vapor de hasta 150 bar y 380 °C respectivamente.

- De acuerdo a la salida del vapor desde la máquina, se tiene :

Máquina de Vapor de Escape Libre

Cuando el vapor sale directamente desde el cilindro hacia la atmósfera. Son adecuadas para casos donde no se dispone de agua en abundancia para el sistema de condensación ó cuando el vapor de escape puede utilizarse para calefacción, secado u otros procesos

Actualmente, al igual que la fabricación, existen plantas de generación que operan bajo estas características .

denominadas sistemas de vapor del tipo abierto.

Máquina de Vapor con condensación

El vapor pasa desde el cilindro hacia el condensador, que es un intercambiador de calor de superficie que generalmente utiliza agua como fluido de enfriamiento, en donde el vapor se condensa disminuyendo su volumen y produciendo un vacío parcial. Las plantas de vapor de estas características se denominan sistemas de vapor del tipo cerrado, es decir el vapor condensado (líquido saturado) es devuelto hacia la alimentación de la caldera.

- De acuerdo al número de cilindros, se tiene :

Máquinas de Vapor monocilíndricas

Como su nombre indica, son unidades de un solo cilindro y se emplean para requerimientos de pequeñas potencias y/o presiones de vapor no muy elevadas así como también la economía en la construcción e instalación.

Máquinas de Vapor policilíndricas

Estas máquinas a su vez se pueden clasificar según la forma de actuar el vapor entre los diversos cilindros que conforman la unidad motriz; es decir :

- Máquinas policilíndricas de simple expansión : En cada cilindro el vapor entra desde la caldera y sale a la atmósfera o al condensador independientemente y sin ninguna conexión térmica entre ellos

En la actualidad una de las fábricas que construye este tipo de máquinas de vapor es la firma alemana SPILLING - WERK, la cual a llegado a una etapa de perfeccionamiento en el diseño de tal forma que fabrica unidades estandarizadas

zadas seccionables en tres tipos ;a medida que aumenta - la demanda de potencia las unidades de motor monocilín - drico pueden ir acoplándose hasta un máximo de 5,6 y 10 unidades correspondientes a cada tipo, formándose así uni - dades motrices de 5,6 y 10 cilindros con simple o doble expansión. Ver apéndice 2.

.Máquinas policilíndricas de múltiple expansión: Acá el - vapor procedente de la caldera entra solamente en un cilín - dro (llamado de alta presión), en el cual se expansiona - parcialmente , luego pasa al siguiente cilindro en donde continúa la expansión. De esta forma una unidad motriz - puede constar de 2,3 o 4 cilindros acoplados termicamen - te .

- De acuerdo al tipo de distribuidor, se tienen :

.Máquina con distribución por corredera plana

.Máquina con distribución por corredera cilíndrica:
pistón-corredera cilíndrica.

.Máquina con distribución tipo corliss

.Máquina con distribución por válvulas.

Entre los tipos de distribuidores más utilizados en la - actualidad se tienen:

Máquina con distribución por pistón-válvula (corredera cilíndrica).

Es uno de las más utilizados y fabricados en la actuali - dad , pues se adecúa mejor para servicio continuo. Su prin - cipio es semejante al desplazamiento del émbolo dentro - la corredera cilíndrica donde se encuentran las conexio - nes de admisión y escape del vapor del cilindro motor.

El accionamiento del pistón es realizado por el eje motor de la máquina de vapor, mediante transmisión directa o indirecta . En las figuras (7-1) y (7-2) se muestran los esquemas de dos máquinas de vapor monocilíndricas con este tipo de distribución .

7.2.3 Regulación de Velocidad de la Máquina de Vapor

Para la generación de energía eléctrica normalmente se requieren velocidades de rotación casi constantes (debido al generador eléctrico) al variar la carga (característica del tipo de demanda eléctrica) ; entonces la máquina de vapor requiere de un sistema de regulación de velocidad que puede realizarse :

- Variando la presión de entrada y manteniendo constante la admisión de vapor. Es denominado regulación por estrangulamiento.
- Variando la admisión y manteniendo constante la presión de entrada del vapor. Se denomina regulación por control de la admisión de vapor.

Generalmente se utilizan reguladores por control de la admisión del vapor y existen dos tipos : reguladores centrífugos y reguladores de inercia . En la actualidad los reguladores que más se utilizan son los del tipo centrífugo, por su alta eficiencia referida al grado de irregularidad e insensibilidad , los que a su vez se diversifican de acuerdo a sus arreglos mecánicos. El objetivo del presente no es la descripción de cada uno de estos tipos, pues cada fabricante de máquinas de vapor considera al regulador dependiendo del tipo de uso , como componente fundamental que vá incluir

do dentro los mecanismos propios de la máquina de vapor.

7.2.4 Parámetros característicos de una Máquina de Vapor

Dentro de la utilización de la máquina de vapor en la generación de potencia para capacidades similares a las del presente estudio, existen hoy en día firmas fabricantes de máquinas de vapor con características que generalmente son : verticales u horizontales, monocilíndricas, de doble efecto, con distribuidor por corredera cilíndrica y en la instalación dentro la planta puede funcionar a escape libre o con condensador. De acuerdo a estas características a continuación se describen los parámetros básicos de la máquina de vapor :

7.2.4.1 Potencia Indicada P_i

Es la potencia desarrollada dentro del cilindro; - es decir es el flujo de energía cedida al pistón o émbolo, por el vapor vivo .En el caso de una máquina de vapor de - doble efecto , monocilíndrica , se determina mediante la expresión :

$$P_i = \frac{L \times N}{6113} (p_{me} \times A + p'_{me} \times A') \quad \text{KW}_i$$

donde:

L : longitud de la carrera del pistón (m)

N : revoluciones por minuto (RPM)

p_{me} : presión media efectiva en el extremo alejado del cigüeñal (en la cara del pistón al lado de la culata , o cara anterior) (Kg/cm²)

p'_{me} : presión media efectiva en extremo próximo al cigueñal (Kg/cm²)

A : área del pistón, extremo alejado del cigueñal (cm²)

A' : área del pistón, extremo próximo al cigueñal (cm²)

normalmente $A = A'$ y se toma $p_{me} = p'_{me}$
entonces se tiene que :

$$P_i = \frac{A \cdot L \cdot N}{3056.3} \times p_{me} \quad (KW_i)$$

- Presión media efectiva : p_{me}

Experimentalmente se determina del diagrama indicado, el cual es obtenido de un dispositivo de medición de potencia interna propio de las máquinas alternativas o reciprocantes, denominado indicador de diagrama. El diagrama indicado es un gráfico proporcional de las relaciones reales entre la presión y el volumen existentes dentro del cilindro de la máquina de vapor .

La presión media efectiva se puede determinar en forma estimada válidamente del diagrama ideal convencional mostrado en la figura (7-3), de donde se puede determinar la presión media ideal " p_{mi} ". La relación entre p_{me} y p_{mi} se denomina "factor de diagrama" f_d cuyo valor es característico de cada tipo de máquina . Para una máquina de vapor con distribuidor de corredera cilíndrica con velocidad entre 200 y 350 RPM el factor de diagrama varía entre 0.8 y 0.85 (obtenido de Kent , Mechanical Engineer's Handbook) .

De esta forma se tiene:

$$p_{me} = 0.8 \text{ a } 0.85 p_{mi}$$

- Presión media ideal : p_{mi}

Es la presión equivalente que debe actuar sobre la cara del pistón durante toda su carrera para producir el trabajo indicado idealmente producido por el ciclo. Para evaluar esta presión se parte del ciclo ideal convencional, donde se supone que no existe espacio muerto ni compresión, y la expansión es isotérmica.

Se tiene entonces :

$$p_{mi} = p_1 \left(\frac{1 + \ln R}{R} \right) - p_2$$

donde :

p_1 : presión de admisión absoluta

p_2 : presión de escape absoluta

R : inverso del grado de admisión

El grado de admisión depende del tipo de máquina de vapor y el uso de condensador . Para el caso de las máquinas con distribución por corredera cilíndrica varía entre 0.2-0.25 (Kent , Mechanical Engineer's Handbook).

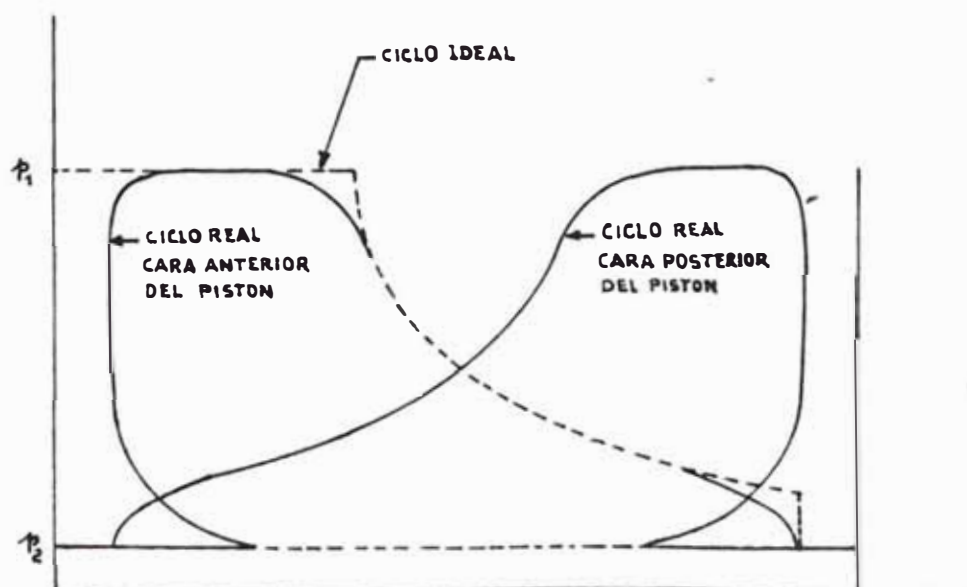


Fig (7-3) Diagrama indicado y ciclo ideal superpuesto

7.2.4.2 Potencia Efectiva P_e

Llamada también potencia al freno o potencia al eje ;es la potencia de salida de la máquina de vapor en su eje. La diferencia entre la potencia indicada y la potencia efectiva representan las pérdidas mecánicas ocasionadas por rozamientos de los elementos móviles de la máquina de vapor.

La evaluación experimental de la potencia efectiva se realiza mediante el uso de dinamómetros que pueden ser de absorción o de transmisión .

Para el objetivo del presente, donde se trata de evaluar las condiciones nominales de funcionamiento de la planta, para luego seleccionar el equipamiento, una forma estimativa de la potencia efectiva nominal estará dada por :

$$P_e = \frac{P_g}{\eta_g \cdot \eta_{tr}}$$

donde :

P_g : potencia eléctrica nominal de generacion

η_g : eficiencia del generador eléctrico, para la capacidad del proyecto varía entre 0.9 a 0.92.

η_{tr} : eficiencia de la transmisión, estimado en 0.98

7.2.4.3 Eficiencia Mecánica η_m

Se determina mediante la relación entre la potencia efectiva y la potencia indicada ;es decir :

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

7.2.4.4 Eficiencia Interna η_i

Realmente en el interior de la máquina de vapor - se producen pérdidas, las cuales originan un proceso no iso entrópico entre la entrada y salida del vapor en el cilindro. Valiéndose del diagrama de Mollier, mostrado en la figura (7-4) se tiene :

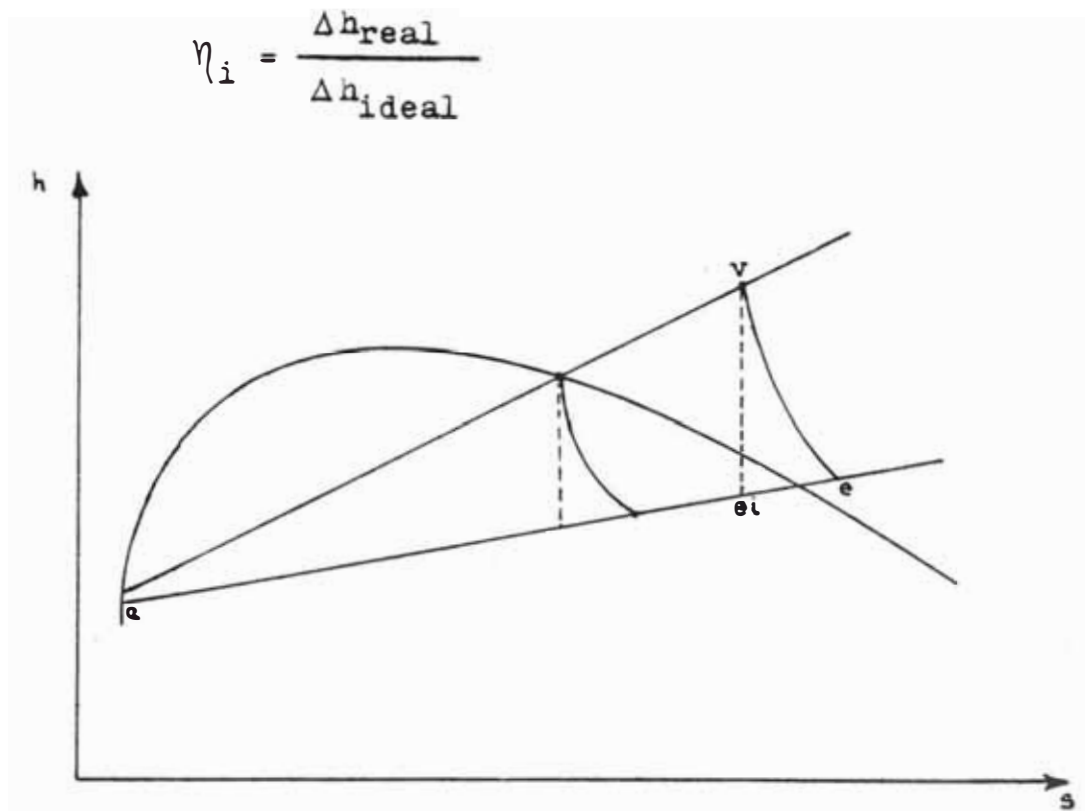


Fig. (7-4) Diagrama de Mollier, Entalpia-Entropía

7.2.4.5 Eficiencia Efectiva η_e

Se determina mediante el producto de la eficiencia mecánica y la eficiencia interna ; es decir :

$$\eta_e = \eta_m \times \eta_i$$

7.2.4.6 Consumo Mínimo de Vapor \dot{m}_{mv}

Está expresado por la siguiente relación:

$$\dot{m}_{mv} = P_i / \eta_i \cdot \Delta h_{\text{ideal}}$$

7.2.5 Selección de la Máquina de Vapor

Para la elección de la máquina de vapor se debe tener en cuenta las condiciones de requerimiento en relación con la oferta competente de este tipo de maquinaria en el mercado .Es decir se debe considerar fundamentalmente:

- Tipo de carga de recepción : en nuestro caso es el generador eléctrico.
- Espacio disponible para instalación
- Características de la máquina de vapor ofertada para la capacidad de requerimiento. Con estos datos se realiza una estimación de los parámetros característicos de dicha máquina (puesto que no todos estos parámetros forman parte del catálogo técnico dado por el fabricante), con la finalidad de : elegir la máquina de vapor dentro la serie ofertada por cada fabricante ,realizar a posteriori una adecuada operación y mantenimiento, y tomar conciencia del diseño y la conformación estructural
- Aspectos técnico-económicos de adquisición. Esto es la interrelación costo-calidad de la máquina

7.2.5.1 Evaluación de Parámetros

Específicamente para el proyecto se tiene:

- Tipo de carga receptora : Generador Eléctrico Síncrono de 160 KW_e
- Espacio disponible para instalación : no hay restricción exigente

Las características de la máquina de vapor según el requerimiento son :

- Capacidad nominal : es decir la Potencia Efectiva que debe desarrollar la máquina de vapor en condiciones tales que el generador eléctrico este entregando 160 Kw_e .

Reemplazando datos en la fórmula se tiene:

$$P_e = 160 / 0.91 \times 0.98 = 180 \text{ KW} = 240 \text{ BHP}$$

Analizadas las propuestas de ventas de máquinas de vapor de las diferentes firmas fabricantes, se ha logrado clasificar de acuerdo a las conveniencias técnico-económicas de nuestro proyecto, en el siguiente orden:

- .Mernak S.A Brasil
- .Skinner Engine Company U.S.A
- .Spillingwerk GMBH Alemania

Para la capacidad requerida , las firmas MERNAK y SPILLINGWERK producen unidades monocilíndricas estandarizadas cuyas condiciones del vapor a la entrada y salida de la máquina son parecidas, pero - la diferencia radica en los costos de adquisición.

- Para evaluar la potencia indicada, se consideran las condiciones del vapor propias de la máquina Mernak de 240 BHP cuyo detalle se muestra en Anexo 1 .
- vapor admisión : $14 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man}$ y $320 \text{ }^\circ\text{C}$
vapor descarga : $0.5 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man}$

Reemplazando en la fórmula de potencia indicada ,

los datos siguientes :

$p_1 = 15 \text{ Kg/cm}^2$, $p_2 = 1.5 \text{ Kg/cm}^2$, $R = 1/0.22$, factor
de diag.=0.825 , $A = 1,134 \text{cm}^2$, $L = 0.4 \text{ m}$, $N = 240$

Se tiene :

$$P_i = 200 \text{ KW}_i$$

- Eficiencia mecánica :

$$\eta_m = 180/200 = 0.9 \quad \delta \quad 90\%$$

- Eficiencia efectiva

Si se asume inicialmente que la eficiencia interna es aproximadamente 0.8, entonces la eficiencia efectiva es :

$$\eta_e = 0.9 \times 0.8 = 0.72 \quad 72\%$$

- Consumo mínimo de vapor

Dadas las condiciones del vapor a la entrada de la máquina de vapor : 15 Kg/cm^2 y 320°C ; de tablas ó diagrama de Mollier se tiene :

entalpía específica de entrada $h_v = 3085 \text{ Kj/Kg}$

Para la presión de salida de 1.5 Kg/cm^2 , la entalpía de salida ideal será $h_{ei} = 2610 \text{ Kj/Kg}$.

Por tanto ,reemplazando en la formula se tiene:

$$\dot{m}_{mv} = 1,900 \text{ Kg/h}$$

De hecho, el consumo real de vapor será mayor puesto que existen pérdidas volumétricas y normalmente para estas plantas con máquinas de vapor, existe un cierto factor de sobredimensión en el flujo de vapor que puede ser de 1.1 a 1.25 \dot{m}_{mv}

7.2.5.2 Aspectos Técnicos de Adquisición de la Máquina de Vapor

Evalúado los parámetros de la máquina de vapor a la capacidad requerida ,para elegir la mejor oferta existente,se debe considerar los siguientes aspectos técnicos:

- La sencilles en su manejo,operación y mantenimiento :fácil montaje y desmontaje de piezas y accesorios
- Capacidad de fabricación y reparación de todos sus componentes y,con un stock libre de repuestos por parte de la entidad ofertante . De preferencia la unidad motriz debe ser estandarizada o modular.
- El sistema de distribución y regulación del vapor debe ser de un diseño tal,que responda a exigencia de seguridad,alto rendimiento dentro de un amplio rango de carga variable.
- Seguridad de funcionamiento comprobada
- Garantía en cuanto a la calidad de manufactura. Es decir el equipo completo debe ser garantizado mediante un estricto control de calidad .
- Además la oferta deberá incluir :
 - Especificaciones técnicas de todos los componentes del equipo
 - Especificaciones técnicas referentes al montaje y desmontaje de la máquina .
 - Suministro de accesorios .
 - Suministro de herramientas .
 - Suministro de curvas de funcionamiento.

- Compromiso de post-contratación referente a :
 facilidad de transporte, adiestramiento de personal
 , asistencia técnica de montaje, garantía de funcionamiento

7.2.5.3 Características Técnicas de la Máquina de Vapor seleccionada

Del análisis de las propuestas de ventas, de acuerdo a los aspectos técnicos, costos y modalidades de adquisición ; entre las firmas ofertantes se ha optado en primera instancia por la firma MERNAK de Brasil, cuya proforma se muestra en el anexo 1.

La unidad standard seleccionada tiene las siguientes características :

Marca : Mernak

Modelo : MV - 240

Tipo : Horizontal Lenta - 240 RPM

Doble efecto

Monocilíndrica

Con distribuidor tipo cilíndrico (corredera cilíndrica).

Con dos volantes

Con sistema de regulación de velocidad -
 incorporado a la máquina, apropiada para
 accionamiento de generadores eléctricos.

La unidad viene equipada adicionalmente con:

Un conjunto de tubos, uniones, registradores, sellos,
 válvulas y otros accesorios para la unión entre la

máquina de vapor y el caldero

Una base de protección para la máquina, con bomba -
de alimentación de agua y precalentador de agua.

Las especificaciones numéricas se dan en el cuadro de pará-
metros técnicos.

7.2.5.4 Cuadro de parámetros técnicos

Este cuadro tiene singular importancia como un me-
dio comparativo respecto a otros tipos de máquinas de vapor
y como referencia para las acciones de operación y manteni-
miento.

Para la máquina de vapor seleccionada, se muestra en el cua-
dro (7-1) .

7.3 Sistema de Generación de Vapor

Al respecto se hará un análisis de la constitución de
una caldera de leña , los tipos existentes y su eficiencia
de funcionamiento ; elementos que servirán como hipótesis -
para la selección integral del sistema de generación de va-
por y, como referencia para el trato en la operación ; man-
tenimiento y construcción parcial o integral del equipo.
La caldera de leña transforma en su cámara de combustión -
al combustible leña, previamente preparada, en gases de com-
bustión cuya energía calorífica liberada se aprovecha para
la vaporización del agua circundante en el interior de la
caldera en sí, mediante el intercambio de calor de superfi-
cie.

En general, toda la técnica de una caldera reposa sobre las

condiciones óptimas de combustión (mostrado en el capítulo 5 en el análisis de la combustión directa) . Esto origina conjuntamente con la capacidad y condiciones de requerimiento de vapor, a que existan diferentes tipos de calderas.

7.3.1 Componentes fundamentales de una Caldera de Leña

Generalmente en una caldera se distinguen dos sistemas : el sistema de combustión o fuente de calor y el sistema de vaporización del agua o receptor de calor.

En las calderas que utilizan combustibles sólidos tales como las calderas de leña, el sistema de combustión está conformado principalmente por el hogar para combustibles sólidos , los conductos de humo y la chimenea; mientras que el sistema receptor de calor está conformado por la caldera propiamente dicha (partes sometidas a presión en la que se produce la vaporización), en donde se encuentra la superficie de calefacción, la cámara de agua-vapor y la superficie de recalentamiento en algunos casos.

Los componentes fundamentales que diferencian a las calderas de leña de las calderas convencionales, se analizan a continuación .

7.3.1.1 El Hogar

El Hogar u Horno, es el lugar o espacio donde se inicia y se completa la combustión. Está compuesto por la cámara de combustión, donde se producen los gases calientes y el cenicero, donde se recogen los residuos de la combustión ; ambos están separados por la parrilla, elemento de fundamental importancia en el desarrollo de la combustión.

Una caldera de leña será muy eficiente tanto como su hogar lo sea, de modo que una vez conseguida la combustión satisfactoria la parte restante de la caldera se comporta como una caldera convencional

La eficiencia del hogar y su correspondiente arreglo depende de varios factores entre los que se cuentan; el tipo de combustible a utilizar visto especialmente en el contenido de cenizas, las partes sometidas a presión (caldera en sí); el abastecimiento de aire y su grado de precalentamiento.

Cuando se alimenta continuamente el combustible leña al hogar de una caldera de leña, se presentan tres etapas o estados transitorios :

En la primera se dá el secado, que ocurre de afuera hacia adentro y requiere de cierto tiempo, donde los trozos grandes requieren de mayor tiempo.

En la segunda se dá la destilación y quema de los volátiles . Cabe resaltar que la leña en virtud de su alto contenido de volátiles (70 a 75 %), produce llama grande o larga .

En la tercera se dá la quema de carbón fijo (que generalmente en la leña representa de 20 a 27%), el cual requiere de 400 a 550 °C para su quemado; si no se alcanza esta temperatura la llama se extingue.

En el hogar estas tres etapas ocurren simultáneamente, en donde a su vez se desprenderá vapor de agua tanto del secado en la primera etapa como de la destilación en la segunda.

Es de gran importancia para el funcionamiento de la calde-

ra de leña, la preparación (secado y fraccionamiento homogéneo) del combustible biomásico antes de su ingreso al hogar. La alimentación con trozos grandes de leña (troncos) puede llevar a desequilibrios entre la generación de vapor y la demanda de este (dificultades en el control de producción de caldera y en el exceso de aire), así como también el desgaste propio del hogar.

En cuanto a la humedad de la leña, visto en el acápite 5.23, se puede afirmar que el exceso de esta influye sobre el rendimiento de la combustión.

Cuando se introduce aire precalentado al hogar se logra mayor rapidez de secado de la leña suministrada, con lo que se logra aumentar la rapidez de combustión. Como regla, el aire no debe exceder de 200 °C de temperatura para así no deformar las parrillas.

Comparativamente con el suministro de aire frío, el aire caliente permite quemar en las mismas parrillas, hasta más de 25 % de la capacidad nominal.

También como regla, es bastante difícil quemar leña en pedazos grandes (troncos), con exceso de aire menor de 40%.

Cuanto más fraccionada sea la leña, su superficie de contacto con el aire se torna mayor.

Para garantizar la turbulencia se requiere de aire en exceso y cámaras de combustión grandes, para así dar el tiempo necesario para la combustión completa. Así, una cámara de combustión bien dimensionada reduce considerablemente la cantidad de partículas no quemadas.

7.3.1.2 La Cámara de Combustión

Ambiente donde se producen los gases calientes productos de la combustión. La cámara de combustión está íntimamente ligada al dispositivo llamado parrilla, la cual convencionalmente consiste en un arreglo de barras de fierro fundido cuya función es sostener el combustible adecuadamente en el hogar y dar paso al aire para la combustión. Se han realizado muchos estudios para mejorar la combustión aumentando el número de barras y disminuyendo los espacios entre ellas, con el fin de obtener una corriente de aire más difusa y fina. Existen parrillas de fierro fundido en diversos tamaños y formas, presentan ventajas en cuanto a su sustitución y se refrigeran con el aire que penetra de abajo hacia arriba para alcanzar el lecho de leña. No obstante este tipo de parrillas sufren grandes deformaciones cuando se quiere extinguir el fuego; es decir que al cortar la combustión se corta el ingreso de aire, eliminándose de esta forma la refrigeración quedando aún con brasas ardiendo en el cenicero. También en algunos casos para apagar el fuego, sobre el lecho de leña se lanza agua la cual alcanza a las barras calientes produciéndoles así fracturas debido a los choques térmicos.

Teniendo en cuenta estos efectos adversos en las parrillas convencionales surgieron las parrillas autorefrigeradas, constituidas de tubos de agua perteneciente al circuito de circulación natural de la caldera que, aparte de soportar altos cambios de temperatura, estas son suficientemente fuertes como para resistir los impactos de trozos grandes de leña (troncos). Estas parrillas son mantenidas a un margen

de temperatura referente a la de saturación del agua, de tal forma que se garantice total inmunidad a las variaciones de temperatura; además están constituidas de tubos de paredes gruesas que presentan gran resistencia mecánica al impacto y al desgaste.

En el hogar de una caldera de leña existen diferentes formas de ubicación de las parrillas en relación al ingreso de aire, ingreso de combustible y evacuación de las cenizas; así también, la ubicación del hogar puede ser interna o externa al cuerpo de la caldera. Todo esto obedece a situaciones técnicas y económicas en relación a la capacidad de requerimiento (producción de vapor).

Dependiendo de la capacidad de la caldera, se pueden utilizar hogares con alimentación inferior del combustible (ingreso del combustible por la parte superior), así como se muestra en la figura (7-5); y también hogares con alimentación de combustible por la parte superior tal como se muestra en la figura (7-6). Además de las dos formas anteriores se puede también realizar la quema del combustible, en suspensión, en parrillas deslizantes, en hogares ciclónicos, o en lecho fluidizado; en este sentido para nuestro caso, la determinación dependerá de las características del requerimiento en mutua relación con la simplicidad, la economía, y la existencia en el mercado.

7.3.2 Tipos de Calderas de Leña

Al igual que en las calderas que queman combustibles convencionales, en las calderas de leña también existen dos grandes familias:

Calderas pirotubulares (PT)

Calderas acuotubulares (AT)

Las características estructurales de estas familias son - bastante particulares, pero que en bien del mejoramiento y sofisticación existen también calderas compuestas por una mixtura entre pirotubulares y acuotubulares.

Las calderas pirotubulares son aquellas cuyos tubos conducen el fuego y los gases productos de la combustión.

Las calderas acuotubulares son aquellas cuyos tubos conducen el agua y vapor .

En la actualidad existen fabricantes de calderas de leña- que en virtud de su originalidad de construcción realizan pequeñas modificaciones en el diseño, pero que en sí obedecen a los mismos principios técnicos de las dos familias de calderas indicadas.

7.3.2.1 Calderas Pirotubulares (PT)

Denominadas también calderas de tubos de humo , pueden ser verticales u horizontales, tener hogar interno- o externo y pueden tener uno o varios pasos.

Estas calderas, dependiendo de su capacidad de producción de vapor, pueden admitir o no hogares internos. En este sentido para capacidades arriba de 4,000 Kg/h , normalmente el hogar es localizado externamente

La razón de no admitir hogares internos es de carácter - constructivo y económico, pues en una caldera pirotubular aumenta su capacidad cuando aumenta su diámetro. Como los espesores son proporcionales al diámetro, esto llevaría a

tener planchas muy gruesas y diámetros exagerados, lo que a la vez repercutiría sobre los costos.

Cabe indicar que paso o pasaje usualmente se designa a las zonas donde hay variación brusca de velocidad de los gases o de cambio brusco de dirección, o igualmente diferenciando radiación de convección. El aumento adecuado del número de pasos mejora o aumenta el rendimiento térmico de una caldera, esto debido a que se logra una mayor absorción de temperatura de los gases calientes antes de salir a la atmósfera.

- Calderas Piro-tubulares Verticales (PTV)

Dada esta disposición son generalmente de pequeñas capacidades

Estas calderas generalmente trabajan con tiro natural, pues la zona de convección es corta y presenta poca resistencia al flujo de los gases.

Existe un recurso muy común usado para mejorar la transferencia de calor; esto es provocando turbulencia en el desplazamiento de los gases. Así algunos fabricantes instalan chapas retorcidas a lo largo de una parte del tubo, logrando mejorar la transferencia de calor y el aumento de resistencia al desplazamiento de los gases calientes

En la figura (7-7) se muestra un esquema de una caldera PTV con hogar interno. Consta de una cámara de combustión interna con parrillas y un pasaje convectivo.

La figura (7-8) muestra una caldera PTV con hogar externo (HE) y de dos pasos (2P).

En la figura (7-9) se muestra una caldera PTV con hogar interno (HI) y de tres pasos (3P).

- Calderas Piro-tubulares Horizontales (PTH)

Con la finalidad de presentar los diferentes arreglos de este tipo de calderas, en las figuras indicadas a continuación se ilustran los esquemas correspondientes.

La figura (7-10) muestra el esquema de una caldera PTH tipo locomotora con hogar interno (HI) y parrilla plana.

La figura (7-11) muestra una caldera PTH de dos pasos (2P), con hogar especial interno y es conocida como "caldera de falda" por tener las paredes laterales partiendo del cuerpo y formando a la cámara de combustión. Esta caldera como aquellas con hogar interno, son de pared fría, es decir son calderas que contienen agua que revisten o refrigeran a los hogares.

Las figuras (7-12) y (7-13) muestran los esquemas de calderas PTH con hogar interno frío y con dos y tres pasos respectivamente.

En la figura (7-14) se esquematiza una caldera PTH con hogar externo (HE) y de dos pasos (2P). En estas, en el costado que está el cilindro que recibe la presión de caldera, está sujeto a incidencia directa de la llama. La figura (7-15) muestra un caso similar pero con tres pasos.

La figura (7-16) muestra una caldera de buena capacidad, la que incorpora a dos hogares internos, lo cual dota de mayor volumen a las cámaras de combustión. Se especifica como caldera PTH-2HI-3P.

En la figura (7-17) se esquematiza una caldera PTH de hogar externo, de tres pasos y de construcción especial; esto es: PTH - HE - 3P - E .

7.3.2.2 Calderas Acuotubulares (AT)

El uso de las calderas acuotubulares se justifican para grandes capacidades de producción de vapor y con altas presiones.

Estas calderas de leña acuotubulares se pueden subdividir en :

Calderas de cámaras

Calderas de dos tambores

Calderas de varios tambores.

- Calderas Acuotubulares de cámaras (AT - C)

En la figura (7-18) se muestra el esquema de una caldera AT con el cuerpo dispuesto en forma longitudinal (CL). Esta presenta las ventajas de tener tubos rectos, lo cual facilita para la limpieza y la sustitución.

La circulación natural se garantiza con el agua descendiendo en las cámaras traseras y la mezcla agua/vapor ascendiendo en las cámaras delanteras . En cuanto a su capacidad estas calderas estan limitadas en lo que se refiere a la dificultad para aumentar el número de tubos y la construcción de estas cámaras no es económica.

En la figura (7-19) se esquematiza otra caldera AT con cuerpo transversal (CT), con la diferencia que con esta disposición se puede aumentar el número de cámaras.

- Calderas Acuotubulares de dos tambores (AT- 2T)

Estas presentan una diversidad de combinaciones de altura, anchura y largura, bastando aumentar la distancia entre centros de los tambores para así lograr mayor superficie -

de calentamiento y dar al hogar la altura adecuada para cualquier condición de trabajo. Con la anclura se aumenta el largo de los tambores y se logra así las dimensiones requeridas. En lugar de ser posible aumentar la altura del hogar con el aumento de la distancia entre centros, los colectores de las paredes de agua pueden descender a cualquier nivel práctico de modo que estas calderas se puedan construir con un arreglo de dimensiones muy versátil.

En la figura (7-20) se muestra un esquema de esta caldera.

- Calderas Acuotubulares de varios tambores

Estas pueden tener tres, cuatro o más tambores, pues obedece a los diferentes arreglos de superficie de calentamiento y de hogares que se puedan adoptar. Ver figura (7-21).

7.3.2.3 Calderas Mixtas (CM)

Estas calderas surgen de las ventajas fundamentales de entre las calderas de leña pirotubulares y las acuotubulares ; es decir :

De la caldera pirotubular se rescata la ventaja de albergar en un reducido espacio una gran superficie de calentamiento, así como también el uso de tubos rectos los cuales facilitan la limpieza y sustitución a un bajo costo.

De la caldera acuotubular se capta la ventaja de que permite los más variados arreglos de los hogares para la quema de la leña.

Consecuentemente las calderas mixtas tienen el cuerpo de una pirotubular y el hogar de una acuotubular.

Actualmente en países como por ejemplo Brasil, existen este

tipo de calderas patentadas ,que se encuentran en funcionamiento con un rendimiento operacional excelente. Estas unidades estan dotadas de amplia cámara de combustión,con hogares refrigerados por tubos de agua cuyas parrillas también son refrigeradas.

En la figura (7-22) se muestra el esquema posible de una caldera mixta.

7.3.2.4 Calderas con Hogar de Lecho Fluidizado (CLF)

Con el fin de mostrar en forma panorámica las características de este tipo de caldera, en la figura (7-23) se muestra un esquema simple. En estas calderas la cámara de combustión está totalmente refrigerada con agua; en la parte inferior se tiene la criba o colador por donde pasa el aire de combustión que va a mantener el lecho en estado de fluidización, y a la vez sirve como soporte del lecho. Encima de la criba se tiene el lecho conteniendo una capa de material inerte, como por ejemplo arena, que al paso del aire correctamente distribuido por el colador va a fluidizarlo; es decir, el flujo de aire al pasar por los granos de arena tenderá a elevarlos y habrá un momento, para una cierta velocidad del aire, en que el lecho se comportará como un líquido. Las partículas de arena se desplazan en todas las direcciones estableciendo así un estado que es propio de los lechos fluidizados.

Si se imagina esta masa de arena en la fase fluidizada calentada al punto de inflamación de la madera (leña), pues al lanzar trozos de leña al lecho estos se inflamarán y liberaran calor para que el medio continúe ardiendo; así se

establece una alimentación continua de combustible y el lecho permanecerá en combustión permanente

Este tipo de hogares presentan características únicas, como por ejemplo: elevado coeficiente de transmisión de calor, lo que permite que el serpentín sumergido en el lecho aproveche grandes cantidades de calor con poca superficie de calentamiento, al mismo tiempo en que se mantiene un balance térmico que permite una baja temperatura en la cámara de combustión.

7.3.3 Rendimiento Térmico de una Caldera de Leña

Como en cualquier tipo de caldera, no toda la energía calorífica que se alcanza en el hogar por efecto de la combustión de un combustible se logra aprovechar para la vaporización del agua; pues existen diferentes pérdidas caloríficas que al ser descontadas en su totalidad se determina las bondades térmicas de un generador de vapor. Esto se evalúa mediante el rendimiento térmico expresado en la siguiente forma :

$$\eta_{TC} = \frac{Q_u}{Q_c}$$

donde:

Q_u : calor útil aprovechado para vaporizar el agua

Q_c : calor dado por el combustible y es igual al producto entre la cantidad de combustible quemado y el poder calorífico correspondiente. Dado que el combustible posee un poder calorífico superior PCS y un poder calorífico inferior PCI, entonces se tendrá un calor

disponible superior e inferior. Para el caso del combustible leña generalmente se utiliza el PCI.

Para evaluar el rendimiento térmico de una caldera de leña se tienen dos procedimientos ;el estimativo y el real :

7.3.3.1 Rendimiento Térmico estimativo

El rendimiento estimativo se obtiene calculando - las pérdidas en la chimenea y atribuyéndose valores de pérdidas en las cenizas, radiación, etc. Para tal efecto deben ser conocidos o estimados los siguientes parámetros:

- Temperatura de salida de los gases productos: $T_g(^{\circ}\text{C})$
- Temperatura del medio ambiente : $T_a (^{\circ}\text{C})$
- Porcentaje de dióxido de carbono : % CO_2
- Poder calorífico superior o inferior : Kcal/Kg
- Humedad del combustible en porcentaje
- Aire teórico de combustión : $m_a \text{ Kg/Kg comb.}$
- Producción de caldera : $Q_u \text{ Kcal/h}$

Las pérdidas en la chimenea son calculadas por las expresiones :

- Pérdida de calor en los gases de escape(gases secos)

$$P_{gs} = m_{gs} \times C_{p \text{ gs}} (T_g - T_a) \quad \text{Kcal/Kg comb.}$$

$$C_{p \text{ gs}} = 0.24 \text{ Kcal/ Kg gases} \times ^{\circ}\text{C}$$

- Pérdida de calor por evaporación de humedad formada al quemar el hidrógeno del combustible y su humedad superficial

$$P_h = m_h \times (565 + 0.48 T_g) \quad \text{Kcal/Kg comb.}$$

Para determinar las pérdidas totales se suman a las ante -

riores las pérdidas por radiación que son cerca del 2.5% y y otras pérdidas que como margen del fabricante se consideran el 1.5 %

Para evaluar el rendimiento térmico estimativo de una caldera que quema exclusivamente leña, se pueden utilizar tablas elaboradas para ciertas condiciones de exceso de aire en la combustión y humedad de la leña.

En el cuadro(7-2) se dá el rendimiento térmico estimativo referido al PCS, para diferentes temperaturas de salida de los gases, diferentes porcentajes de humedad de la leña y para un exceso de aire del 40 %

En el cuadro(7-3) se presenta la variación del bióxido de carbono con el exceso de aire en la combustión de la leña.

7.3.3.2 Rendimiento Térmico Real

El calor útil o calor absorbido por la caldera en la producción de vapor Q_u , está dado por :

$$Q_u = \dot{m}_v \times (h_v - h_a)$$

donde :

\dot{m}_v : cantidad de vapor producido por la caldera o flujo de vapor .

h_v : entalpía del vapor a la salida de la caldera, se obtiene de tablas o diagramas de vapor para las condiciones de temperatura y presión en este punto T_v y P_v

h_a : entalpía del agua de alimentación al ingreso a la caldera, se obtiene aproximadamente por el producto del calor específico a presión constan

te C_p del agua (aproximadamente 1 Kcal/Kg.°C)
y . temperatura de ingreso a la caldera T_a .

Entonces, el rendimiento térmico real de la caldera estará
dado por :

Rendimiento térmico referido al PCS

$$\eta_{ts} = \frac{\dot{m}_v \times (h_v - h_a)}{\dot{m}_c \times \text{PCS}}$$

Rendimiento térmico referido al PCI

$$\eta_{ti} = \frac{\dot{m}_v \times (h_v - h_a)}{\dot{m}_c \times \text{PCI}}$$

7.3.4 Selección de la Caldera

Para realizar la selección del equipo de generación
de vapor, primeramente se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El tipo de combustible a quemar
- El espacio disponible para la instalación
- El tipo de consumidor de vapor, requerimiento de vapor
- El costo de combustible en relación con la implementación adicional del generador de vapor.
- El costo de la caldera en relación a las características de requerimiento-oferta de equipo. Entre los parámetros se tienen :

Presión de vapor de trabajo

Temperatura de vapor de trabajo

Producción de vapor

Consumo de combustible y el tipo de hogar

Rendimiento térmico

7.3.4.1 Evaluación de Parámetros

Para el presente estudio se tiene:

- Tipo de combustible a utilizar : leña, desechos o residuos de la industria de la madera y de otras agroindustrias (arroz, conservas, etc)
- Espacio disponible : no se tiene exigente restricción.
- Costo del combustible a utilizar : los combustibles biomásicos varían entre 1 a 10 USS/ton.
- Tipo de consumidor de vapor : accionamiento de máquina de vapor. Se requiere de vapor sobrecalentado a 15 Kg/cm^2 de presión y 320°C de temperatura, y consumo de vapor promedio de 2,300 Kg/h.

Para estas condiciones de requerimiento de vapor, las calderas del tipo pirotubular son las que más se adecuan técnica y económicamente. El hogar puede ubicarse en el interior o exterior del cuerpo de la caldera; esto obedece a criterios de costos y del fabricante en sí

- Calor útil o capacidad calorífica de la caldera: para la producción de vapor entre 2,100 y 2,400 Kg/h, con entalpía del vapor a la salida de la caldera de 3085 Kj/Kg (738 Kcal/Kg) y entalpía del agua de alimentación (a 70°C en promedio) de 292-Kj/Kg (70 Kcal/Kg) ; la caldera debe disponer de una capacidad calorífica de :

$$\begin{aligned} Q_u &= 2,100 \text{ Kg/h} \times (738 - 70) \text{ Kcal/Kg} \\ &= 1,402,800 \text{ Kcal/h} . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 2,400 \text{ Kg/h} \times (738 - 70) \text{ Kcal/Kg} \\
 &= 1'603,200 \text{ Kcal/h}
 \end{aligned}$$

Esto es Q_u : 1.4 a 1.6 Gcal/h

- Rendimiento Térmico : Para la capacidad referida las calderas de leña alcanzan rendimientos térmicos entre 70 a 80 %

7.3.4.2 Aspectos Técnicos de Adquisición de la Caldera de Leña

Además de las condiciones de requerimiento, para la determinación de la mejor oferta, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones técnicas :

- La caldera debe ser de diseño sencillo, de preferencia sea de fabricación estandarizada y para el caso sea del tipo pirotubular.
- Debe especificarse si el equipo lleva sobrecalentador de vapor y/o precalentador de agua de alimentación .
- Se especificará el tipo de chimenea con su respectivo tamaño del tiro.
- La caldera deberá utilizar como combustibles biomásicos la leña y desechos o residuos agroindustriales.
- El hogar de combustión puede estar incorporado al cuerpo de la caldera propiamente dicha (hogar interior) o puede ser una unidad independiente acoplable (hogar externo) . El hogar debe ser de un diseño tal que permita su mantenimiento accesible, es -

decir facilidad para la limpieza de cenizas y desechos de la combustión.

- La caldera debe disponer de ventanas o compuertas, para efectuar el mantenimiento de los tubos así también los aislamientos internos
- En todo el equipo de la caldera se debe exigir garantía en el diseño y la construcción, según normas internacionales. El cuerpo de la caldera debe estar forrado con aislante térmico y la chapa o plancha metálica debe corresponder a un acero ASTM-A-285-C y el de los tubos ASTM-A-178-C ; fabricados según normas del código ASME o su equivalente.
- El equipo de generación de vapor a su vez debe estar constituido por los siguientes sistemas :
 - sistema de alimentación de agua
 - sistema de seguridad y control
 - sistema de emergencia
 - sistema eléctrico de comando
 - accesorios adicionales.
- El equipo se debe caracterizar por la facilidad en el montaje y desmontaje de piezas y accesorios, así como también su fácil maniobrabilidad.
- Todo el equipo ofertado debe ser respaldado con amplia experiencia en su fabricación y reparaciones, y un amplio stock en todos sus componentes y repuestos en general.
- La entidad ofertante debe proveer todas las especificaciones técnicas del equipamiento en general, en

samble, montaje, desmontaje, operación, características de funcionamiento a diferentes cargas del generador de vapor e insumos utilizables. Así también se debe considerar las facilidades en el transporte, adiestramiento de personal, asistencia técnica

En la evaluación de ofertas también se debe tener en cuenta la amplia experiencia en la producción de equipamientos completos de generación termoeléctrica.

7.3.4.3 Características Técnicas de la Caldera seleccionada

Teniendo en consideración los aspectos anteriores, la firma MERNAK ofrece calderas estandarizadas, para la capacidad de requerimiento. Las características técnicas son las siguientes:

Modelo : CHL - 240 - RS/15

Marca : Mernak

Tipo : Pirotubular de construcción horizontal -
PTH

con dos pasos o pasajes (2P)

con hogar externo removible y de construcción especial : HE - E

Produce vapor sobrecalentado

La unidad dispone de aislamiento térmico con coberturas de lana de vidrio y roca especial, puede quemar aparte de leña otros combustibles biomásicos adicionales tales como desechos de aserraderos, de la industria del arroz, etc. No exige

de fraccionamiento riguroso, acepta leños de hasta 1m. de largo. Datos numéricos se dan en cuadro de parámetros técnicos. Las especificaciones del equipamiento de generación de vapor son:

- Cuerpo de la Caldera

Es de construcción sólida ejecutada con planchas de acero ASTM-A-285-C ; los tubos son de acero ASTM-A-178-C , la soldadura es realizada electricamente por el proceso de arco sumergido y su fabricación es realizada según normas ABNT y DIN (equivalente a normas del código ASME).

- El Hogar

El hogar es removible, de construcción especial, con circulación de agua para refrigeración, es ejecutada en tubos de acero ASTM-A-178-C en las paredes y acero ASTM-A-120 cédula 40 en los tres tubos grandes , el revestimiento térmico es realizado con coberturas de lana de roca y revestimiento externo con plancha fina.

El hogar está equipado con seis tapas (mirillas) de inspección, parrilla para quemar leña u otros combustibles sólidos tales como cáscarillas de arroz, carbón vegetal, residuos de aserradero, bagazo de caña, pepas de algodón , restos de frutos de coco, melocotón, paja de arroz y otros.

- Sobrecalentador de Vapor

Posee 24 m² de superficie de calentamiento, realizado con tubos de acero y montado en la caja de humos de la caldera .

- Tiro

Compuesto por una chimenea metálica de 18 metros de altura .

ra y un diámetro de 0.7 metros .

- Sistema de alimentación de agua

Automático, compuesto por :

- .una electrobomba para alimentación de agua con entrada - de 30 mm de diámetro , flujo de 4,500 litros/h , accionada por motor eléctrico trifásico de 4 polos , 10 CV, 380/220 voltios y 60 Hz.
- .una válvula de retención en la línea de agua entre la bomba y la caldera
- .una válvula de bloqueo tipo globo en la línea de agua entre la bomba y la caldera.
- .una válvula de retención en la línea de agua entre el inyector y la caldera
- .un conjunto regulador de nivel de agua, para el control - de nivel máximo y mínimo en el interior de la caldera con dispositivo para conectar y desconectar la bomba de agua y accionamiento de alarma en caso de falta de agua .

- Sistema de seguridad y control

Automático, compuesto por :

- .un manómetro de 6" para indicación y control de presión de la caldera
- .un indicador de nivel de agua con válvula de descarga y visor.
- .una válvula de seguridad montada en la cámara de vapor , con capacidad de control diferencial de presión de acuerdo con normas NB-55 de la ABNT.
- .un fusible térmico en la cámara en la caja de fuego .
- .Un conjunto de electrodos de seguridad de nivel de agua,

montados en el conjunto de control de nivel de agua y conectado a un señalizador visual.

.un señalizador audio-visual para alarma en caso de falta de agua en la caldera.

- Sistema de Emergencia

.un inyector de vapor para sustituir a la bomba de agua.

.un registro de vapor en la línea de vapor del inyector.

- Sistema eléctrico de comando

.La caldera está prevista de un armario metálico y panel de comando donde estan instalados todos los elementos del sistema eléctrico de comando, quedando de esta forma libres de los ataques de polvo normalmente existente en el ambiente de funcionamiento de la caldera, así como también la protección contra posibles choques o golpes.

.una llave electromagnética, trifásica, con relé térmico, para comando y protección del motor de la bomba de agua.

.una llave de comando para la bomba de agua .

.un bloque de fusibles para el motor de la bomba de agua.

.una alarma audio-visual (cigarra-foco luminoso), para advertencia en casos en que el nivel del agua esté por debajo del mínimo.

- Accesorios y equipamiento adicional

.Una válvula principal de salida del vapor, de 4 pulgadas de diámetro.

.una cubierta para alojar los electrodos del regulador e indicador de nivel del agua

.válvula de descarga de fondo

.puertas de inspección y limpieza.

7.3.4.4 Cuadro de Parámetros Técnicos

Tiene el objetivo de identificar al generador de vapor para realizar las acciones de operación y mantenimiento a lo largo de su vida de funcionamiento, así como también realizar comparaciones con otras unidades para la toma de decisiones en la adquisición. Para el equipo de generación de vapor, los parámetros técnicos se muestran en el cuadro (7-4).

7.4 Evaluación de la Demanda de Combustible

Corresponde hacer el análisis cuantitativo de la demanda de combustible y las etapas de procesamiento de la biomasa forestal, desde la tala y extracción en el bosque energético hasta la puesta a disposición como combustible apto a ser suministrado a la caldera, para la capacidad de generación eléctrica proyectada.

7.4.1 Determinación de la Demanda de Combustible

7.4.1.1 Energía del Combustible Requerida

El flujo de energía calorífica que debe ceder el combustible biomásico para la producción de vapor de la caldera a las condiciones de requerimiento, se determina mediante :

$$ECR = \dot{m}_v \times (h_v - h_a) / \eta_{ti}$$

Reemplazando en los datos :

producción de vapor \dot{m}_v 2,200 - 2,400 Kg/h

salto entálpico del vapor en la caldera $h_v - h_a$: 668 Kcal/Kg

Rendimiento térmico referido al PCI η_{ti} : según datos de

la caldera seleccionada tiene un valor medio de 75 %

Se tiene :

$$\text{ECR} : 1'959,000 - 2'137,000 \text{ Kcal/h}$$

7.4.1.2 Consumo Horario de Combustible Leña

Se determina mediante la relación :

$$\text{CHC} = \frac{\text{ECR}}{\text{PCI}}$$

Tal como se ha visto anteriormente (capítulo 5), el poder calorífico del combustible leña o cualquier biomasa vegetal varía de acuerdo a la especie y al contenido de humedad de esta .

En cuanto a la diversificación de especies leñosas, la variación del poder calorífico no es muy significativa respecto al límite inferior.

En cuanto a la humedad del combustible biomásico , el poder calorífico aumenta a medida que disminuye el porcentaje de humedad contenida . Para la utilización es recomendable que la humedad contenida se disminuya a porcentajes adecuados; esto mediante secado natural o mediante el aprovechamiento del vapor excedente de la planta.

Para efectos del cálculo del consumo horario de combustible leña, se toma en forma conservadora el valor promedio del PCI de 3,300 Kcal/Kg , correspondiente a una humedad media de 25 a 30 %.

Reemplazando datos en la relación anterior se obtiene :

$$\text{CHC} : 593 - 647 \text{ Kg/h}$$

El valor medio del consumo horario de leña es de 620 Kg/h

7.4.1.3 Demanda Anual de Leña

Es la cantidad anual de leña que hay que abastecer a la planta para que satisfaga la demanda eléctrica anual proyectada de la localidad en estudio.

Se calcula mediante el producto del consumo horario de combustible leña por las horas de utilización anuales en que la planta entrega la potencia proyectada; esto es :

$$DAL = CHC \times f.c \times 8,760$$

factor de carga anual medio f.c : 0.582

La demanda anual de leña estará comprendida entre :

$$DAL : 3,023 - 3,298 \text{ ton/a}$$

El valor medio es : $DAL = 3,160 \text{ ton/a}$

Si se considera que la densidad media del combustible leña es de 0.6 ton/m^3 (dato conservador), el volumen anual de leña que se deberá abastecer a la planta está comprendido :

$$VAL = DAL / 0.6 \quad \text{m}^3/\text{a}$$

$$VAL : 5,038 - 5,496 \text{ m}^3/\text{a}$$

El volumen anual medio será : $VAL = 5,267 \text{ m}^3/\text{a}$

7.4.1.4 Area de Bosque Energético requerido según Método de Reforestación

Si se considera los volúmenes de biomasa sacable útil estimados para la Selva Baja peruana, de acuerdo a cada modo de reforestación planteado; el número de hectáreas de

bosque energético requerido para cubrir el volumen anual -
medio de leña será :

Regeneración Natural	150Ha/a
Regeneración Natural con enriquecimiento	75 Ha/a
Tala Rasa y Reforestación	35 Ha/a

Sin embargo la localidad en estudio posee una disponibilidad de biomasa útil de aproximadamente $100 \text{ m}^3/\text{Ha}$ en promedio de bosque primario, con especies de alto valor energético. Entonces el número medio de hectáreas de bosque energético requerido para abastecer a la planta será :

Nº He aprox. 53 Has/a

El número total de hectáreas de biomasa con densidad de $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ requeridas a lo largo de la vida útil de la planta, considerada en 20 años, será en promedio de aproximadamente 1,060 Has.

Por otro lado, si se plantea el adecuado manejo forestal - para garantizar la renovabilidad del bosque sin afectar el equilibrio ecológico de la zona; el área total del bosque energético dimensionado según el método de reforestación, - para la vida útil del proyecto es :

- Mediante el método de regeneración natural donde el periodo de rotación tiene una duración máxima de 40 años, entonces para 150 Ha/a se dispondrá de 6,000 Has . Pero - como la vida útil del proyecto es de 20 años, el área de explotación del bosque energético para el requerimiento total será de un máximo de 3,000 Has.
- Mediante el método de regeneración natural con enriqueci

- miento, cuyo periodo de rotación máxima es de 20 años, que es igual a la vida útil del proyecto, para el requerimiento de 75 Ha/a el área total del bosque será de 1,500 Has.
- Mediante el método de tala rasa y reforestación con periodo de rotación máxima de 14 años, para el requerimiento de 35 Ha/a, el bosque energético tendrá un área total de 490 Has. Esto significa que para el periodo de vida útil de la planta, el requerimiento total de biomasa forestal se cubre con parte de la segunda rotación

Comparando con la disponibilidad de biomasa forestal en la localidad en estudio, que es de 8,000 a 32,000 hectáreas (promedio 20,000 Has) con densidad de $100 \text{ m}^3/\text{Ha}$, el requerimiento total de biomasa forestal por la planta, es marcadamente inferior para cualquiera de los tres métodos de manejo forestal.

7.4.1.5 Determinación del Bosque Energético según Método de Reforestación

Según el análisis anterior y el realizado en 5.3.2 se tiene :

- El bosque energético manejado con el método de Regeneración Natural es el de mayor tamaño (si es que se aplica en su integridad), debido a que ha sido evaluado en forma bastante conservadora, con una productividad mínima y tiempo de rotación máxima. Este método puede ser más adecuado como para un proyecto dendrotérmico iniciante ya que, a su simplicidad, bajos costos y características fisiográficas

ficas favorables de la zona ,la alteración del equilibrio ecológico es prácticamente nulo.

- El bosque energético manejado con el método de Regeneración Natural con Enriquecimiento se caracteriza por :
 - .Su área de bosque es perfectamente manejable, por su menor tamaño que el anterior, mayor concentración y cercanía a la planta se puede disminuir los costos de extracción y transporte .
 - .Si bien este método requiere de mayor infraestructura - productiva y mantenimiento de la plantación que el anterior , se logra producir mayores volúmenes de leña en menores periodos de tiempo, sin alterar en mínimo el equilibrio ecológico .
 - .A medida que se aprovecha el bosque enriquecido, su productividad aumenta alcanzando incrementos productivos de 15 a 20 m³/Ha/a con periodos de rotación cada vez más cortos. Es decir los costos van disminuyendo y la productividad va aumentando a medida que aumenta el número de rotaciones.
- El bosque energético manejado con el método de Tala Rasa y Reforestación, comparativamente a los dos anteriores, se ve menor área ; asegura la explotación en ciclo rápido - de la completa potencialidad productiva del ecosistema forestal, esto debido a la utilización inmediata de la biomasa acumulada en el curso del tiempo, a la vez que la forestación sobre toda la superficie con especies de rápido crecimiento permite regenerar a plazos comparativamente menores, la biomasa a utilizar.

Por otro lado, este método demanda de mayores costos que los anteriores y además requiere de amplia experiencia - para su aplicación. No obstante que en nuestro país ya - se ha tenido éxito experimental con este método, su aplicación para fines energéticos puede ser más adecuado posterior a proyectos energéticos realizados con los dos métodos anteriores,

Luego del análisis para la determinación del bosque energético según el método de reforestación, para la planta dendrotérmica en estudio, se sugiere el siguiente orden de prioridad

Bosque con regeneración natural

Bosque con regeneración natural enriquecido

Bosque con tala rasa y reforestación .

Sin embargo se debe considerar que cualquiera de estos métodos puede ser aplicado inicialmente si es que se cuenta con el asesoramiento técnico adecuado, la participación plena de la comunidad tanto en el proceso de reforestación - como en las etapas de preparación del combustible biomásico y, el apoyo político y económico del estado u otras entidades en general.

7.4.2 Preparación y Aprovechamiento de Combustible

El recurso forestal para ser utilizado como combustible de suministro a la caldera, debe recibir una adecuada preparación con la finalidad de que :

- Reuna las condiciones tales que puedan llevar a su

mejor aprovechamiento energético. Lo constituye el secado y seccionado.

- Se disponga de un almacén tal que garantice la continuidad y la autonomía de funcionamiento de la planta.

La preparación se realiza por etapas, desde cuando el árbol está en pie a su edad de corte en el bosque energético hasta cuando esté listo a ser suministrado a la caldera. Estas etapas son :

- Tala y extracción
- Transporte
- Almacenamiento

Los medios para realizar cada una de estas etapas pueden ser hechos manualmente o con la ayuda de maquinaria (medios semimecánicos). Estos se adoptarán de acuerdo a las condiciones técnicas, económicas, sociales y de ubicación que caracterizan al lugar donde se realiza el proyecto.

En nuestra Selva se tiene amplia experiencia y pericia en la explotación de la madera utilizada para la industria del mueble y procesos afines. Esta mano de obra experimentada, muy bien se puede aprovechar para los objetivos dendrotérmicos, logrando así practicidad y economía.

7.4.2.1 Tala y Extracción

La Tala constituye el tumbado, despunte, desramado y corte en secciones. El corte en secciones o troncos, debe ser de uno a dos metros de largo. Dependiendo de la estación y el transporte, los troncos pueden ser secados previamente al natural en el campo logrando así extraer parte de

la humedad contenida.

Los medios con que debe realizarse la tala pueden ser manuales con hachas, sierras, machetes; y/o semimecánicos con motosierras, tractor.

La Extracción consiste en el remolque o transporte primario, desde la ubicación del árbol en el bosque hasta un lugar accesible donde será apilado (amontonado), listo para ser transportado al centro de almacenaje. Puede realizarse a mano o mediante un guinche. Los troncos pueden ser reducidos en diámetros menores, con la finalidad de facilitar su transporte, mediante máquina para quebrantar leña o el uso de hachas

7.4.2.2 Transporte

Constituye el acarreo de los troncos desde el lugar accesible en el bosque energético, hasta el centro de almacenamiento ubicado en la planta. Dependiendo de la ubicación geográfica, el transporte puede hacerse por río o por tierra. En el caso de transporte por río los troncos se cargarán sobre la cnata-barcaza y/o remolcador y en el caso de transporte por tierra se puede utilizar camión o tractor.

7.4.2.3 Almacenamiento

En esta etapa se realiza la descarga y apilamiento de los troncos transportados, a su vez el fraccionamiento y apilado, quedando listo para ser suministrado a la caldera.

Al llegar a la planta los troncos serán descargados y api-

lados manualmente en montones de uno a dos metros de largo y no menos de dos metros de altura. La ubicación del almacén debe ser cercana a la planta, en un lugar con bastante acceso a las corrientes de aire por lo que para su construcción solamente se requiere de techado, conformándose así un patio de ~~almacenaje~~. Esta distribución además de constituir el centro abastecedor de combustible, permite reducir aún más la humedad que puede alcanzar a porcentajes no mayores de 25 %.

Posteriormente los trozos sacados manualmente desde la pila serán reducidos de tamaño utilizando motosierras y/o hachas. Cada trozo es reducido en 4 a 8 partes, obteniendo así rajadas de leña con dimensiones máximas de 35x10x10 cm. En forma general para ser utilizados como combustible, las rajadas de leña son reducidas en fracciones más pequeñas llamadas chips o astillas, cuyas dimensiones pueden ser 8x4x4 cm. y se realizan manualmente con hachas y machetes, o con maquina chipeadora. Los chips serán apilados y almacenados constituyendo una reserva de por lo menos para 5 días de funcionamiento autónomo de la planta.

Una de las ventajas que ofrece el equipo de generación de vapor es que ha sido diseñado para quemar fracciones de leña sin la necesidad de chipecado riguroso.

En el siguiente capítulo se realiza la evaluación de costos de cada una de las etapas de preparación del combustible - leña así como también los costos de reforestación, con la finalidad de poder elegir los medios mas económicos tales que reduzcan su costo de producción.

7.4.3 Combustibles Biomásicos Adicionales

En cuanto a los combustibles biomásicos adicionales a la leña, denominados así a los desechos o residuos provenientes de las actividades agrícolas y agroindustriales que se pueden utilizar como combustibles complementarios a la leña, según visto en 2.2.3 en la localidad de Puerto Inca, la cantidad estimable para 1985 se calcula que fue de 400 ton/a .

Si se considera que al inicio del proyecto, la cantidad de este tipo de combustibles alcanzan a 600 ton/a y además - si se toma el valor medio de sus poderes caloríficos (según 5.3.3.1 y 5.3.3.2) en 3,800 Kcal/Kg para secado natural; entonces la energía calorífica que se puede aprovechar de estos residuos o desechos biomásicos será de :

$$6 \times 10^5 \text{ Kg/a} \times 3,800 \text{ Kcal/Kg} = 22.8 \times 10^8 \text{ Kcal/a}$$

Este valor representa aproximadamente el 22 % de la energía del combustible requerida por la planta.

Si es que la planta es alimentada en su totalidad por combustibles producto de los desechos o residuos biomásicos - mencionados, entonces el consumo horario medio de este combustible para las condiciones de requerimiento de la planta será de :

$$2.048 \times 10^6 \text{ Kcal/h} / 3,800 \text{ Kcal/Kg} = 538 \text{ Kg/h}$$

o también: 2,743 ton/a

La utilización de estos combustibles como complemento o -

como sustituto temporal a la leña, es conveniente porque:

- Los costos del combustible requerido disminuyen, precisamente por la diferencia de costos de obtención - comparados con los de la leña, tal como se evalúa en 8.1.6 .
- Puede cubrir intervalos de tiempo de funcionamiento de la planta en los que la alimentación con leña sea interrumpida .Se puede mantener como reserva para un cierto margen de autonomía de la planta.
- Se evita la alta concentración como desperdicios en los aserraderos, molinos, etc , pues con su utilización energética se elimina los problemas de evacuación, espacio y polución.

A medida que bayan desarrollándose los programas dendrotéricos de potencia en forma general, en las localidades y centros agroindustriales de la zona de influencia, las actividades económicas irán en crecimiento; las productividades de la agricultura y la agroindustria se incrementan y consecuentemente sus residuos o desechos. Esto permitirá que a través del tiempo los costos del combustible se bayan reduciendo.

7.5 Sistema de Generación de Energía Eléctrica

7.5.1 El Tipo de Generador Eléctrico

Los tipos de generadores que pueden ser utilizados son :

Generador Síncrono

Generador Asíncrono

El uso del generador Síncrono es más generalizado puesto que comparativamente al generador Asíncrono tiene ventajas tales como; alta eficiencia, sistema de excitación más versátil, mejor funcionamiento y también la gran existencia en el mercado como equipo cuyos costos son más bajos sobre todo para el rango de capacidad que tiene el proyecto.

El generador eléctrico, dependiendo del tipo de máquina motriz, puede instalarse con la posición de su eje en forma horizontal o vertical y su acoplamiento respectivo puede ser directo o indirecto mediante sistema de transmisión.

7.5.2 Componentes Principales del Generador

7.5.2.1 Sistema de Excitación del Generador Síncrono

Entre los diversos tipos de excitación existentes para generadores de baja potencia se tienen :

- Excitación estática o con escobillas (o anillos rozantes).
- Excitación rotativa o sin escobillas.

- Sistema de Excitación Estática

Presenta las siguientes ventajas:

- .Respuesta rápida ante variaciones de carga
- .Presenta poca caída de tensión
- .Fácil detección de fallas y acceso a ellas
- .Fácil mantenimiento
- .Facilidad de puesta en paralelo con otros sistemas eléctricos .

Sus desventajas son :

- .Presenta partes que sufren desgaste periódico (ani-

llos y escobillas).

- .Requiere de mantenimiento más frecuente.
- .Ocupa espacio relativamente grande
- .Según el estado de las escobillas y con un desbalance en el sistema electrónico puede producir interferencias.

- Sistema de Excitación Rotativo

Presenta las siguientes ventajas:

- .Ocupa espacio relativamente corto
- .Requiere de mantenimiento menos frecuente.
- .Introduce poca interferencia
- .No presenta muchas piezas susceptibles al desgaste

Sus desventajas son :

- .Respuesta lenta ante variaciones de carga
- .Detección de fallas trabajosa
- .Cuando presenta falla importante, el mantenimiento es muy costoso.
- .Su costo de adquisición es mayor del sistema estático.

7.5.2.2 Sistema de Regulación de Tensión

Este sistema se basa en un dispositivo que regula la excitación para que, aumentando o disminuyendo su valor durante variaciones de carga, mantenga constante la tensión de salida del generador.

La elección del regulador de tensión depende del tipo de excitación y por ende del tipo de generador; donde se debe tener en cuenta la velocidad de respuesta, su confiabilidad

y dispositivos de protección del regulador en sí.
Generalmente los reguladores de tensión son automáticos.

7.5.2.3 Sistema de Protección

Esta constituido por la protección al sistema de excitación y protección al generador en sí.

Los dispositivos de protección al sistema de excitación - debe dirigirse a las fallas siguientes :

- .Pérdida de campo del generador; La protección debe hacerse a través de un relé de sub-corriente.
- .Sobretensión del sistema de excitación: Deberá actuar un relé de sub-tensión con conexión directa.
- .Sobrecorriente del sistema de excitación: Deberá - actuar un relé de máxima corriente de conexión indirecta (mediante transformador de corriente).

Para el caso del generador en sí, donde las fallas pueden darse por sobrecorrientes la protección deberá realizarse a través de un relé de máxima corriente de acción indirecta y con retardo independiente

7.5.3 Parámetros Característicos del Generador Eléctrico

Entre los parámetros básicos que caracterizan a un generador eléctrico se tienen : Potencia de generación, eficiencia o rendimiento de generación, tensión de generación, velocidad de rotación, factor de potencia.

7.5.3.1 Potencia de Generación P_g

Es la potencia eléctrica en los bornes de salida del generador. Su magnitud debe ser igual o cercana a la -

potencia proyectada de suministro eléctrico por la planta en condiciones de funcionamiento óptimo.

Como los generadores se fabrican para valores conocidos de potencia, en nuestro caso se considera entonces que la potencia de generación es de 160 KW

7.5.3.2 Eficiencia de Generación η_g

Es la relación existente entre la potencia de salida o potencia de generación y la potencia de entrada o potencia efectiva que se le debe proporcionar en su propio eje. La diferencia entre estas dos potencias representa las pérdidas que se producen durante el funcionamiento del generador. Entre estas pérdidas se tienen

.Pérdidas ohmicas

.Pérdidas en el núcleo

.Pérdidas debidas a las resistencias pasivas: ventilación y rozamientos.

.Pérdidas por cargas parásitas

.Pérdidas adicionales asociadas a su funcionamiento

Entonces, la eficiencia del generador puede expresarse como

$$\eta_g = \frac{\text{Potencia de Salida}}{\text{Potencia de Salida} + \text{Pérdidas generador'}}$$

La eficiencia de generación es variable con la carga y a la vez esta variación depende de la capacidad de generación. En la figura (7-24) se muestra la variación de la eficiencia de generación con respecto al porcentaje de carga, de un generador síncrono con capacidad similar a la del proyecto.

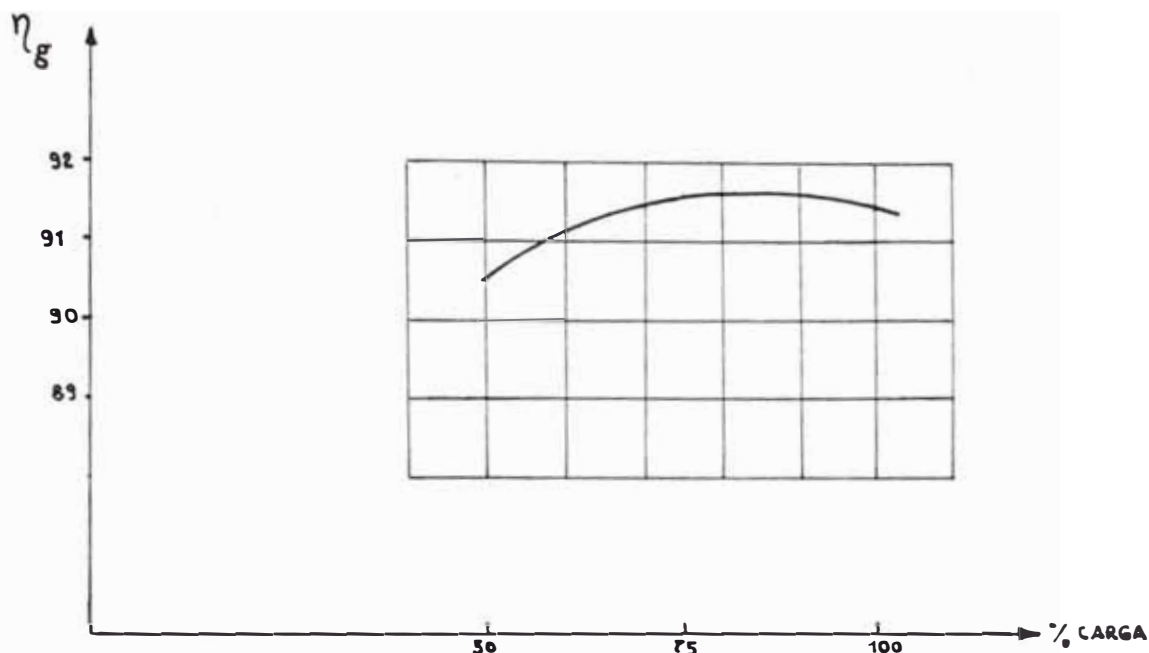


Fig (7-24) Eficiencia del Generador Eléctrico

7.5.3.3 Tensión de Generación

Es el voltaje de salida en bornes del generador. No existen valores estandarizados de tensión de generación, ellos dependen del país de origen de la maquinaria; pero en líneas generales se han adoptado valores menores de 500 voltios para potencias menores de 400 KW.

7.5.3.4 Velocidad de Rotación N

Es la velocidad con que gira el eje del rotor del generador síncrono y está relacionada con la frecuencia y el número de polos mediante la expresión :

$$N = \frac{60 f}{p} \quad \text{RPM}$$

donde :

f : frecuencia en Hertzios (Hz). Comunmente el valor utilizado en el Perú es 60 Hz.

p : número de pares de polos

7.5.4 Selección del Equipo de Generación Eléctrica

Una adecuada selección de este equipo se consigue - cuando se realiza una adecuada comparación entre las características del requerimiento eléctrico y la oferta existente en el mercado nacional o internacional

7.5.4.1 Evaluación de Parámetros

Para las condiciones de requerimiento se tiene:

- Tipo de máquina motriz : Máquina de Vapor de 180 y 240 RPM.
- Tipo de Generador Eléctrico : Síncrono triásico
- Características del medio : altitud media de 190 m.s.n.m y temperatura no mayor de 40 °C
- Potencia de generación : 160 KW
- Eficiencia del generador : Para la potencia de generación varía de 0.9 - 0.92
- Tensión de generación : Para las condiciones de la demanda eléctrica y la oferta en el mercado, la tensión puede ser 380 voltios en bornes (conexión estrella).
- Velocidad de rotación : Para la frecuencia común en nuestro medio de 60 Hz, existen normalmente generadores de 4 y 6 polos cuyas velocidades son de 1800 y 1200 RPM respectivamente. El número de polos guarda relación directa con el costo de fabricación del generador.
- Acoplamiento máquina motriz-generador : conocida la velocidad del eje de la máquina de vapor (240

RPM) y elegido el generador de 1800 RPM ; además conocido - las condiciones de requerimiento se determina el tipo de - transmisión flexible . La transmisión puede realizarse mediante fajas en V conectadas entre la volante de la máquina de vapor y polea ubicada entre los cojinetes de apoyo - del generador.

7.5.4.2 Aspectos Técnicos de Adquisición del Generador Eléctrico

Además de cumplir con los parámetros de requerimiento evaluados anteriormente, para la adquisición del equipo generador debe considerarse :

- Deberá ser autoregulado ;de excitación estática
- Disponible para operar en paralelo
- Puede operar con carga desequilibrada
- Para un cambio brusco de la carga nominal, la tensión no bajará más de un 20 % durante un segundo.
- Resistencia de sobrecargas del orden de 50 % durante dos minutos y cortocircuitos en sus bornes durante tres segundos.
- Aislamiento clase F tropicalizado
- Deberá operar con neutro a tierra
- Debe incluir tres transformadores de corriente nominal secundaria de 50 amperios ,ubicados entre el neutro y el inicio del bobinado, colocados en la caja de bornes, con fines de protección.
- Facilidad de montaje y desmontaje de piezas y accesorios .
- Debe ser garantizado en cuanto a su calidad de ma

nufactura .

- Debe ser estandarizado

- La oferta deberá incluir:

Especificaciones técnicas de todos los componentes del equipo y también del montaje y desmontaje. Suministro de accesorios, curvas de funcionamiento.

7.5.4.3 Características Técnicas del Generador Seleccionado

La firma MERNAK de Brasil también ofrece generadores eléctricos para la capacidad del proyecto. Considerando las facilidades que significan la adquisición del equipo completo para la planta ,se opta inicialmente el compromiso con esta firma.

La unidad standard seleccionada tiene las siguientes características:

Tipo : Generador Síncrono trifásico

Construcción horizontal

Autoventilado

Montado sobre bases de acero con prolongación del eje y polea ubicada entre los cojinetes de apoyo

Dispone de carriles estiradores de fajas de transmisión.

La unidad cuenta también con :

Tablero completo de comando

Juego de fajas en V

Tipo de Regulador de Tensión : Para Excitatriz Estática. Tipo ETXL-5

Las especificaciones numéricas se dan en el cuadro de parámetros técnicos ,cuadro (7-5)

7.6 Sistema Eléctrico Complementario

7.6.1 Tableros de Control, Protección y Medida

El objetivo de los tableros de control, protección y medida es centralizar los equipos eléctricos auxiliares y permitir una adecuada operación y supervisión del funcionamiento de la planta .

El número de tableros y su distribución varía según la potencia, el servicio que presta, el equipamiento que lleva y el tipo de máquinas . En nuestro caso el generador de vapor-máquina de vapor y el generador eléctrico tienen un panel eléctrico de comando propio.

7.6.1.1 Unidades de Medición

Son los instrumentos que dan información de los niveles de voltaje, corriente, potencia, frecuencia, presión , temperatura, velocidad, indicadores de nivel, etc. Los instrumentos eléctricos van en el tablero y los no eléctricos generalmente están ubicados en el mismo equipo.

Los principales instrumentos eléctricos de medición que se requieren en la planta son :

- Voltímetro de corriente alterna con escala de medición 0 - 500 V ,clase de precisión 1.5
- Amperímetros de corriente alterna : de conexión indirecta mediante transformador de intensidad o de conexión indirecta ,con escala 0 - 1.2 In (In es la corriente nominal del generador),clase de preci

si3n 1.5 ,una unidad por cada fase.

- Frecuenc3metro con escala de medici3n 57-63Hz,380V
- Kilovat3metro de corriente alterna con tensi3n nominal 380/220 V,5A ;escala 0 a 1.2 de la potencia nominal de la unidad.
- Conmutador voltim3trico de tres vias ,tensi3n 380/220 V .
- Medidor de energ3a activa para corriente alterna - trif3sica con tensi3n nominal 380/220 V,3A y con- tador de inducci3n con disco rot3rico de aluminio.

7.6.1.2 Unidades de Control y Protecci3n

Van ligados unos a otros y su implementaci3n depen- de de la necesidad de la planta.

Dentro de los elementos de control se tienen :

- Interruptores de protecci3n,ubicados en lugar visible
- Luces indicadoras,que informan de las condiciones de operaci3n de algunos elementos.
- Anunciadores sonoros para actuar en caso de anorma- lidades (sin parada de la unidad) o en caso de fa- lla (con parada de la unidad).Tambi3n se puede usar dispositivos anunciadores audio-visuales (cigarra- foco luminoso).
- Term3metros de control de elevaci3n de la tempera- tura en los cojinetes.
- Control de la presi3n del circuito de aceite

Dentro de los elementos de protecci3n se tienen:

- En el generador el3ctrico:
 - .Rel3 de protecci3n por sobrecorriente

- .Relé de protección por sobretensión
- .Relé de protección por pérdida de campo
- .Relés de protección por sobrecorriente y por sobretensión de la excitación.
- En la Máquina de Vapor
 - .Dispositivos de control y protección contra la elevación excesiva de la temperatura en partes sometidas a fricción.
- En el generador de vapor
 - .Interruptor electromagnético con relé térmico para control y protección del motor de la bomba alimentadora de agua.
 - .Fusible térmico para protección en la cámara en la caja de fuego.

7.6.1.3 Aspectos Técnicos de Adquisición del Tablero

Para la adquisición del tablero se debe exigir lo siguiente :

- El tablero (o tableros) será diseñado para garantizar el buen funcionamiento de la planta,debiendo cumplir con las normas de protección.
- Estará provisto de un aislamiento adecuado a la tensión nominal y resistir las pruebas de aislamiento y tensión de acuerdo a normas.
- Los materiales estructurales serán de óptima calidad así como su protección anticorrosiva,conductores y barras de cobre,aislantes de PVC,porcelana y resina. El dimensionamiento será de acuerdo a la tensión nominal,considerando efectos térmicos y -

dinámicos de la corriente y estabilidad mecánica.

- Los instrumentos y dispositivos serán para control ,protección y medida.

Ademas,dentro la adquisición,la oferta incluirá materiales eléctricos auxiliares para la instalación en base al plano referencial de la casa de máquinas;esto es :

- Cables de potencia entre el generador eléctrico y el tablero.
- Cables de mando,control y servicios auxiliares
- Material de puesta a tierra.

7.6.1.4 Características Técnicas del Tablero seleccionado

El sistema eléctrico complementario seleccionado-está constituido por las unidades de medición,control y protección del equipo generador de vapor-máquina de vapor y el generador eléctrico,cuyos márgenes de alcance están identificados respectivamente

El detalle de los parámetros técnicos del tablero eléctrico principal se muestran en el cuadro (7-6).

CUADRO (7-1)

PARAMETROS TECNICOS DE LA MAQUINA DE VAPOR

	PARAMETRO	UNIDAD	MAGNITUD
1	Potencia Efectiva (en el eje)		180
2	Eficiencia Efectiva		72
3	Diámetro Cilindro	mm	380
4	Carrera	mm	400
5	Cilindrada	cm ³	45,365
6	Revoluciones del Cigüeñal	RPM	240
7	Velocidad Lineal del Pistón (media)	m/s	3.2
8	Presión de Vapor de Admisión	Kg/cm ² m	14
9	Presión de Vapor de Escape	Kg/cm ² m	0.5
10	Temperatura de Vapor Admisión	°C	320
11	Consumo de Vapor		
12	Número de Volantes	-	2
13	Diámetro Volante	mm	1,800
14	Ancno Volante	mm	350-450
15	Peso Volante	Kg	1,200x2
16	Peso Máquina	Kg	6,800
17	Peso Total (aprox.)	Kg	9,200
18	Sistema de Lubricación a Presión	Kg/cm ²	3
19	Aceite de Lubricación Cilindro	tipo	
20	Aceite de Lubricación de Rodamientos	tipo	* *

* Mobil Super Cilindro extra hecla mineral o similares

* * Mobil DTE BB o similar

CUADRO (7-2)

Rendimiento Térmico Estimativo referido
al Poder Calorífico Superior de la Leña

Tg °C	Humedad de la Leña U (%)								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
200	81.4	80.0	78.1	75.8	72.7	68.4	61.9	51.1	29.4
225	80.2	78.7	76.9	74.5	71.4	67.0	60.4	49.3	27.3
250	79.0	77.5	75.7	73.3	70.0	65.6	58.8	47.6	25.2
275	77.8	76.3	74.4	72.0	68.7	64.1	57.3	45.9	23.0
300	76.6	75.1	73.2	70.7	67.4	62.7	55.7	44.1	20.9
325	75.5	73.9	71.9	69.4	66.0	61.3	54.2	42.4	18.8
350	74.3	72.7	70.7	68.1	64.7	59.9	52.7	40.7	16.7

Fuente : Referencia (45)

CUADRO (7-3)

Variación del Bióxido de Carbono con el
exceso de aire en la Combustión de la Leña

Exceso de Aire (%)	CO ₂ (%)
0	20.2
10	18.4
20	16.8
30	15.5
40	14.4
50	13.4
60	12.6
70	11.8
80	11.2
90	10.6
100	10.1

Fuente : Referencia (45)

CUADRO (7-4)

PARAMETROS TECNICOS DE LA CALDERA DE LEÑA

N ^o	PARAMETRO	UNIDAD	MAGNITUD
1	Producción de Vapor	Kg/h	2,200-2,400
2	Capacidad calorífica media	Kcal/h	1,536,000
3	Presión de Trabajo abs.	Kg/cm ²	15
4	Temperatura de Vapor	°C	320
5	Presión de Prueba Hidrostática	Kg/cm ²	
6	Elevación de Temperatura en el Precalentador	°C	50
7	Largo del Cuerpo	m.	5.4
8	Ancho (diámetro)	m.	1.792
9	Superficie calentada de Vapor Saturado	m ²	120
10	Superficie calentada de Vapor Sobrecalentado	m ²	20
11	Volumen de Agua	m ³	7.88
12	Volumen de Vapor	m ³	1.81
13	Volumen Total	m ³	9.69
14	Poder Calorífico del Comb. PCI	Kcal/Kg	3,300
15	Rendimiento Térmico referido al PCI	%	75
16	Consumo de Combustible Leña	Kg/h	620
17	Humedad del Combustible		20
18	Temp. Gases en la Chimenea	°C	250-300
19	Diámetro de la Chimenea	m.	0.7
20	Tiro (Natural)	m.	18
21	Peso Total	Kg	14,500

CUADRO (7-5)

PARAMETROS TECNICOS DEL GENERADOR ELECTRICO

N	PARAMETRO	UNIDAD	MAGNITUD
1	Potencia de Generación	KW	160
2	Tensión de Generación	V	380
3	Velocidad de Rotación	RPM	1800
4	Factor de Potencia Cos ϕ	-	0.8
5	Eficiencia: a 50 % de carga	%	91.4
	75 % de carga	%	91.6
	100 % de carga	%	90.5
6	Frecuencia	Hz	60
7	Velocidad de Embalamiento	RPM	2160
8	Número de Polos	-	4
9	Humedad	%	60
10	Clase de Aislamiento	-	F
11	Clase de Protección	-	I P 23
12	Rango de Regulación de Tensión	%	\pm 10
13	Rango de Desviación Máxima :		
	- Estática	%	2
	- Dinámica	%	20
14	Carga Desequilibrada por Fase	%	12
15	Potencia Absorbida en Excitación	KW	3.5
16	Peso Total	Kg	755

CUADRO (7-6)

PARAMETROS TECNICOS DEL TABLERO ELECTRICO

N	PARAMETRO	UNIDAD	MAGNITUD
1	Dimensiones : -Altura	m	1.8
	-Frente	m	0.9
	-Fondo	m	0.45
2	Peso Total	Kg	98
3	Clase de Protección	-	Aislamiento EPOXI
4	Corriente Nominal	A	304
5	Corriente de Cortocircuito	KA	22
	térmico , tiempo	Seg.	2 a 8
6	Número de Paneles de Salida	-	8
7	Número de Paneles para Ser-		
	vicios Auxiliares	-	4
8	Corriente Nominal de los In-		
	terruptores:Generador, salida	A	280/350
9	Sección de Barras :cobre	Pulg.	1x 5/16
10	Voltímetro : Escala	V	0-500
	Clase Precisión	-	1.5
11	Amperímetro: Escala		0-400 a 800
	Clase Precisión	-	1.5
12	Frecuencímetro: Escala	Hz	57 -63
	a tensión	V	380
13	Kilovatímetro: 380 V, escala	KW	0-200

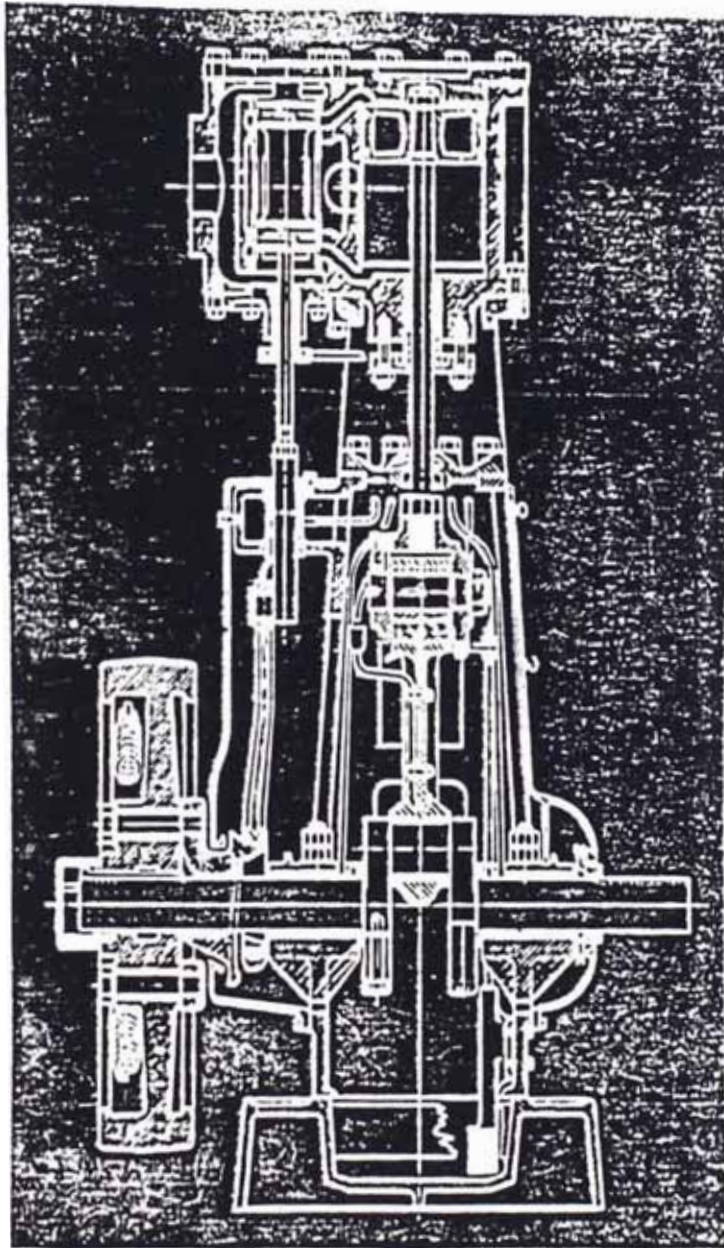
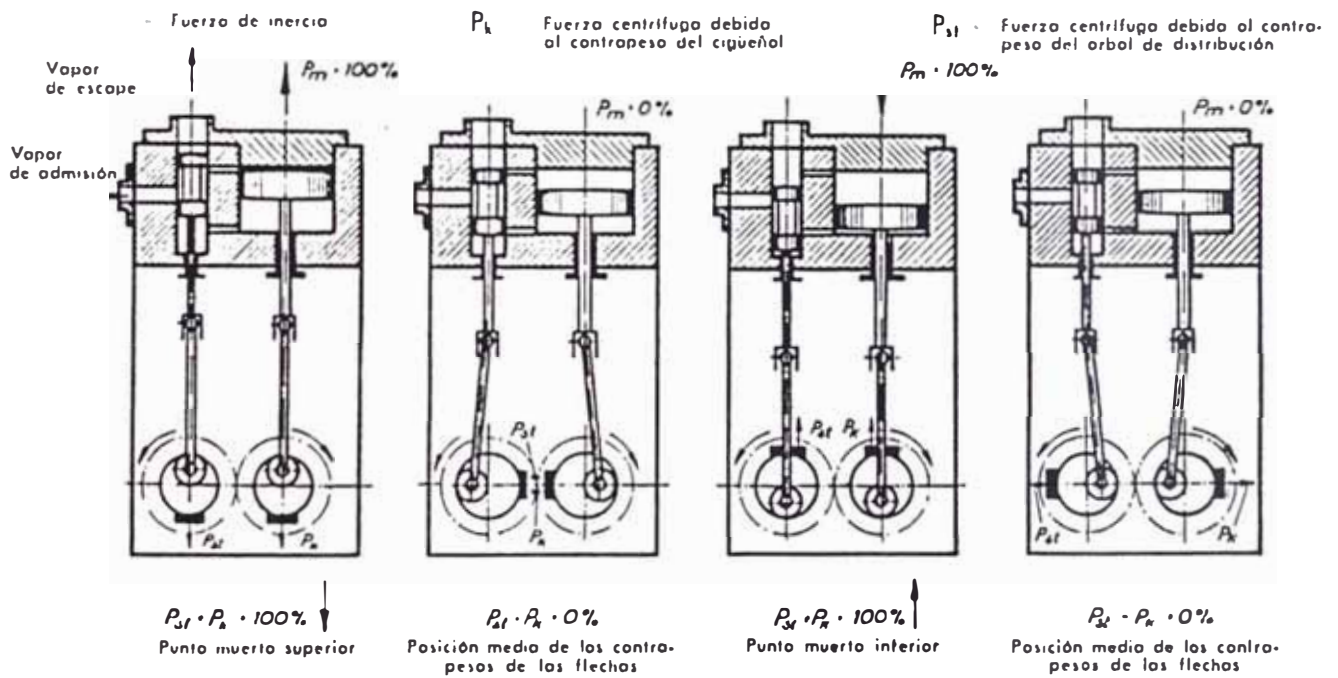


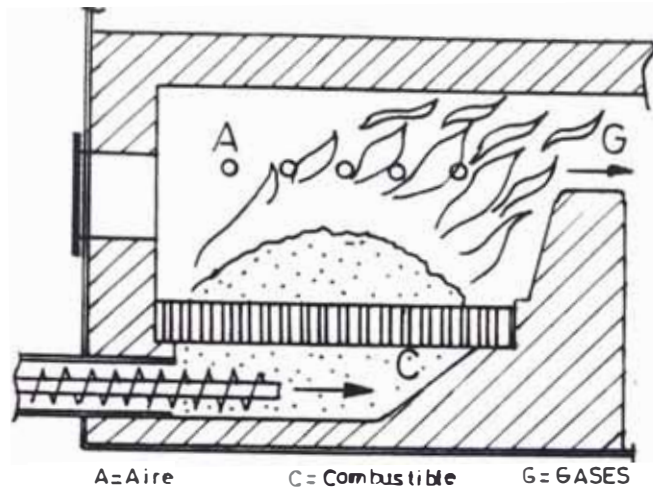
FIG. (7-1) MAQUINA DE VAPOR CON DISTRIBUCION CILINDRICA

Esquema del equilibrio de fuerzas en el motor SPILLING



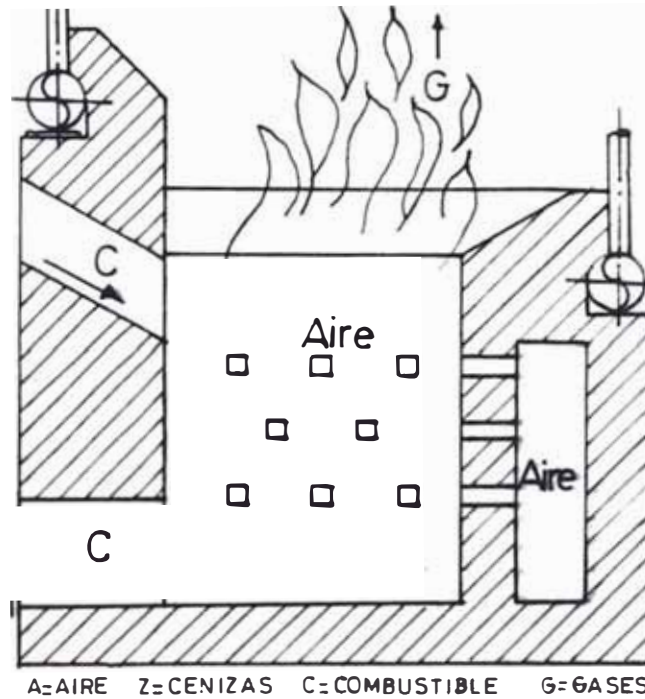
Equilibrio de fuerzas en el motor SPILLING por rotación de mosas en sentidos opuestos.

FIG (7-2)



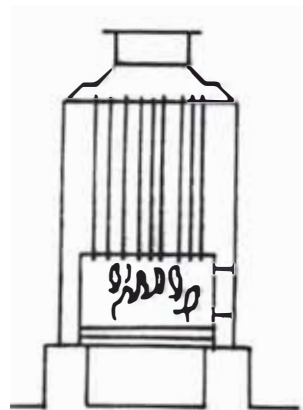
A=Aire C= Combustible G= GASES

Fig(7-5) Horno de caldera con alimentación inferior

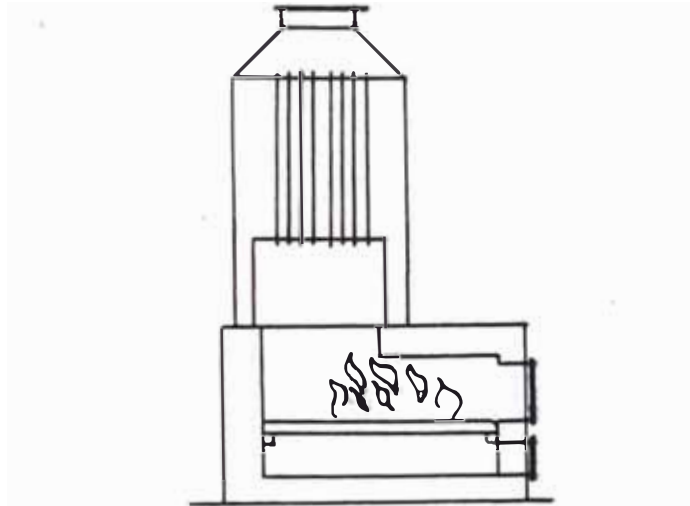


A=AIRE Z=CENIZAS C= COMBUSTIBLE G= GASES

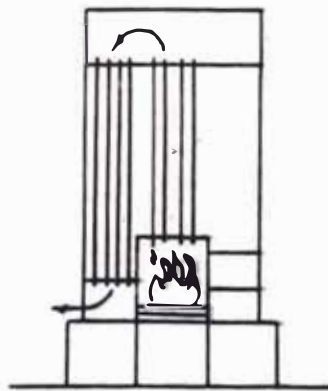
Fig(7-6) Horno de caldera con alimentación superior



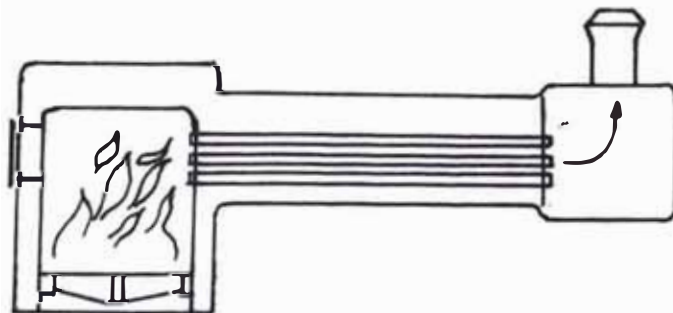
Fig(7-7) Caldera PTV-HI-2 P



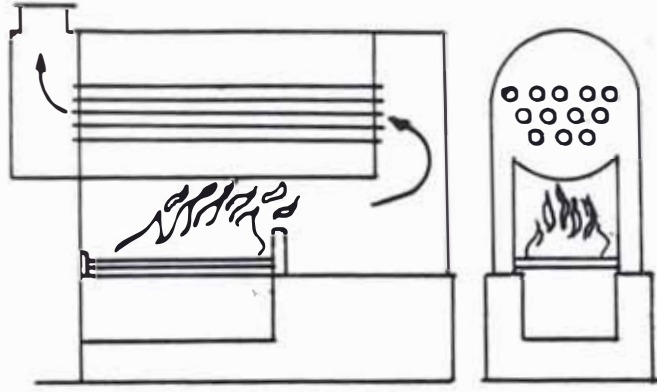
Fig(7-8) Caldera PTV-HE-2P



Fig(7-9) Caldera PTV-HI-3P



Fig(7-10) Caldera PTH Tipo Locomotora



FIG(7-11) Caldera PTH-HI-2P-E



Fig (7-12) Caldera-PTH-HI-2P

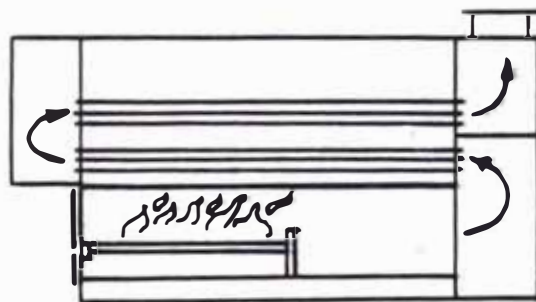
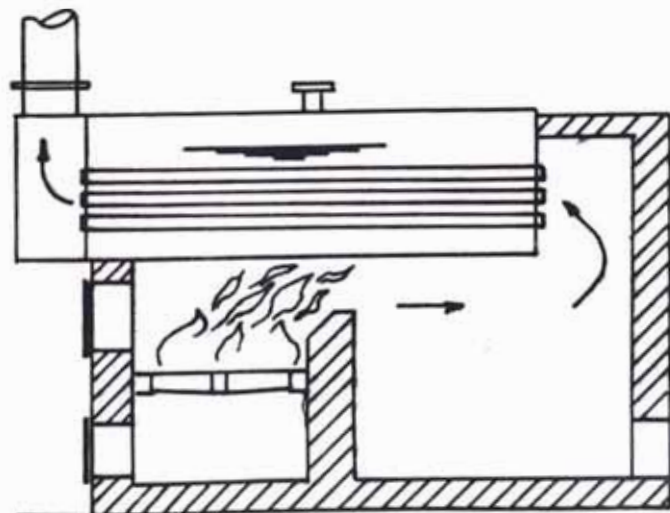


Fig (7-13) Caldera PTH-HI-3P



Fig(7-14) Caldera PTH-HE

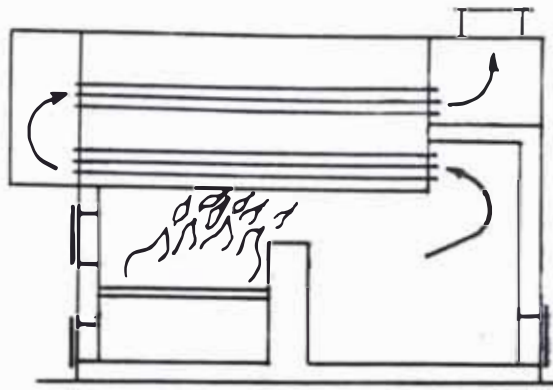
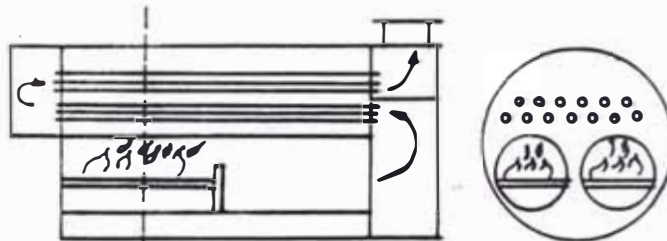
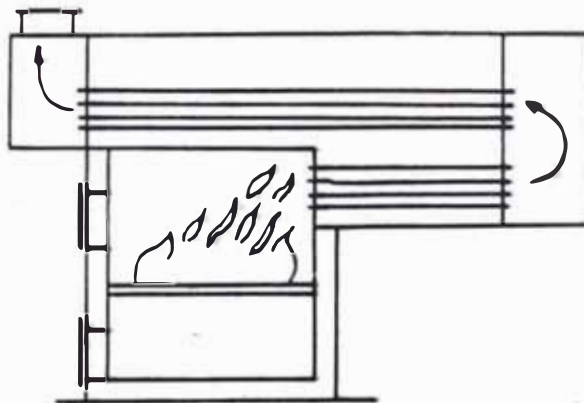


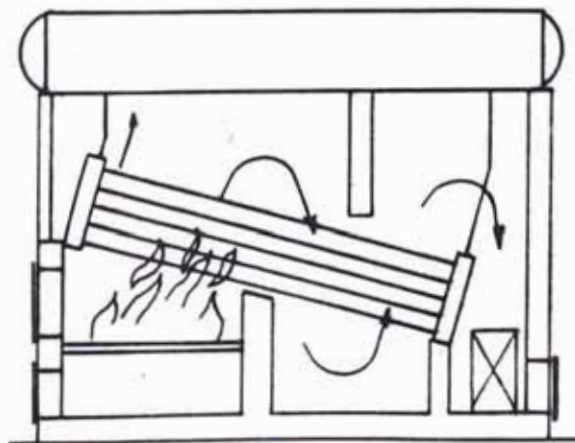
Fig (7-15) Caldera PTH-HE-3P



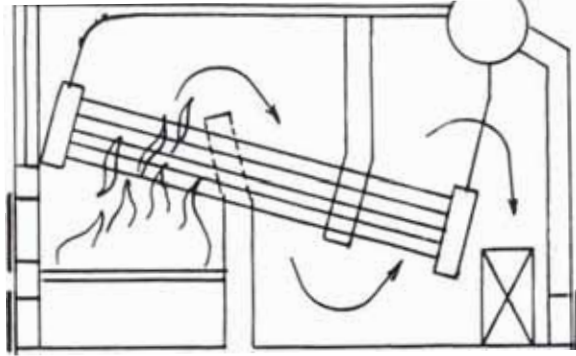
Fig(7-16) Caldera PTH-2HI-3P



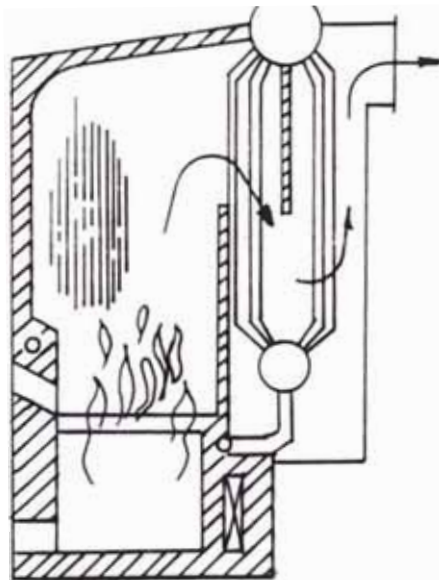
Fig(7-17) Caldera PTH-HE-3P- E



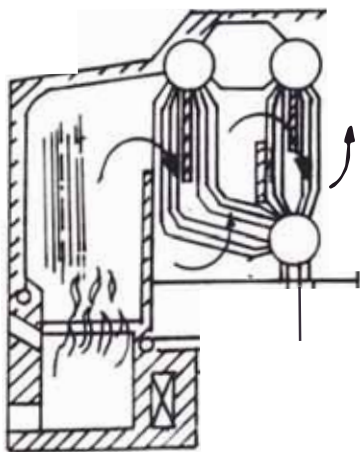
Fig(7-18) Caldera AT-CL



Fig(7-19) Caldera AT-CT



Fig(7-20) Caldera AT-2T



Fig(7-21) Caldera AT-3T

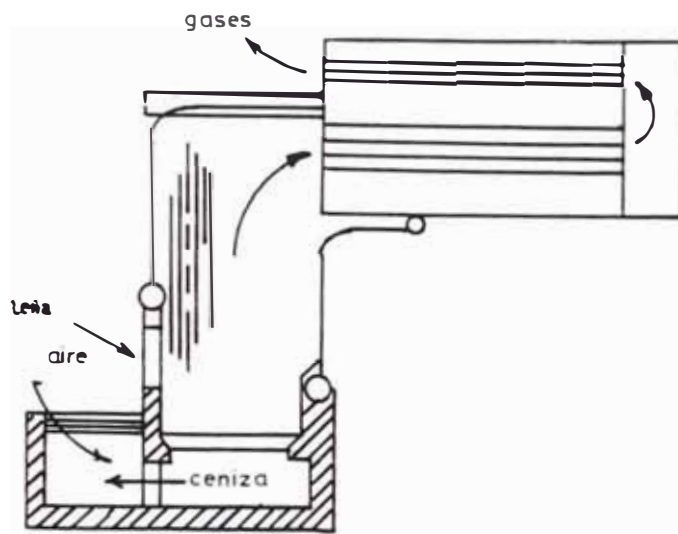
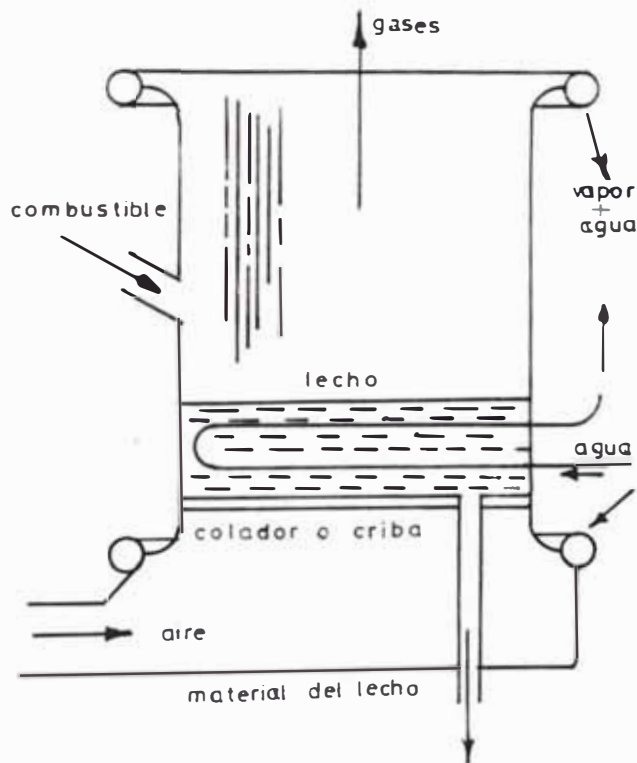


Fig (7-22) CALDERA MIXTA



FIG(7-23) Camara de lecho fluidizado

C A P I T U L O 8
EVALUACION ECONOMICA

8.1 Determinación del Costo de Combustible

Para determinar el costo del combustible biomásico - forestal se procede a calcular en forma desagregada, los costos de cada una de las etapas de preparación, los costos por infraestructura y los costos de reforestación.

El costo por tonelada métrica del combustible biomásico - requerido se obtiene de la suma de los costos desagregados, evaluados en monedas duras; en este caso se ha considerado el dolar americano.

8.1.1 Costos de Tala y Extracción

Para esta etapa, se determina mediante las estimaciones de los gastos por mano de obra, equipo e insumos correspondientes y mantenimiento.

El gasto medio de mano de obra para actividades de tipo - forestal (incluido el refrigerio), según datos tomados en el campo y valores estimados por la Universidad Nacional -Agraria La Molina -UNA- se presenta en la siguiente distribución :

	valor tomado en el campo (US\$/día)	valor estimado por UNA (US\$/día)
Motosierrista	2 - 2.5	4 - 5
Machetero	1.5 - 1.8	3

Los medios a utilizar en esta etapa inicialmente se plantea el conjunto machete, hacha y motosierra. En nuestra selva peruana existe gran experiencia y mano de obra disponible en la explotación maderera; la motosierra, el machete, son los elementos de mayor uso en el corte, tala y fraccionamiento de los árboles.

Para la tala y extracción de la cantidad solicitada de biomasa forestal se requiere del siguiente personal:

- Dos motosierristas, cada uno dispuesto de una motosierra con llama de 50 cm.
- Cuatro ayudantes, dispuestos con hachas, machetes y guinche.

Los costos de inversión de capital del equipo utilizado - se estima en :

Equipo	Costo de inversión de capital (US\$)	Vida media (años)
2 motosierras de llama de 50 cm	1,200	3 - 4
4 hachas	32	1
4 machetes	28	1

Con las consideraciones que :

- Cada 4 años se sustituyen las motosierras y anualmente las hachas y los machetes

- Sueldo de cada motosierrista es 1,080 USS/a
- Sueldo de cada ayudante es de 900 USS/a
- El costo de operación y mantenimiento de equipo por año representa el 10 % del costo de inversión de capital.
- El costo por combustible para 1,300 horas anuales de funcionamiento de las motosierras, consumiendo 0.75 kg por hora de gasolina con precio 0.55 USS/Kg será :

$$1,300 \text{ horas/a} \times 0.75 \text{ Kg/hora} \times 0.55 \text{ USS/Kg} = 536 \text{ USS/a}$$

Para estas condiciones, el costo anual actualizado por tala y extracción se estima en 6,894 USS/a . Así de esta forma el costo por tonelada de leña cuya demanda media anual es 3,160 ton/a, será de :

$$(6,894 \text{ USS/a}) / (3,160 \text{ ton/a}) = 2.18 \text{ USS/ton}$$

8.1.2 Costos de Transporte

El costo por transporte como servicio de terceros- según referencia (7), para la zona de influencia , puede - considerarse :

Vía fluvial	0.2 USS/ton-Km
Vía terrestre	0.3 USS/ton-Km

Para el caso, si se asume una distancia máxima de 10 Km de transporte por vía terrestre; entonces el costo de transporte por tonelada de leña será :

$$0.3 \text{ USS/ton-Km} \times 10 \text{ Km} = 3 \text{ USS/ton}$$

8.1.3 Costos de Almacenamiento

La reducción de tamaño de la leña en forma de rajas se realizará utilizando motosierra y hacha.

El fraccionamiento final en astillas o chips se puede realizar en forma manual con hacha-machete, o mediante máquina chipeadora. Inicialmente se optará por el uso de hacha y machete, pues el proceso de chipeado es tan simple que bastará de una breve práctica de los leñadores para estar aptos a producir chips de tamaño uniforme y adecuado.

El personal mínimo requerido estará constituido por:

- Un motosierrista
- Dos ayudantes, dispuestos con hacha-machete

Para las consideraciones similares a las asumidas en la evaluación del costo de tala y extracción y de acuerdo al personal requerido en este caso; el costo anual de almacenamiento se estima en 3,447 USS/a y el costo por tonelada de leña será :

$$(3,447 \text{ USS/a}) / (3,160 \text{ ton/a}) = 1.09 \text{ USS/ton}$$

8.1.4 Costos por Infraestructura

Según el método de reforestación el bosque energético requiere de una mayor o menor infraestructura, lo que redundará en el costo del combustible

La infraestructura común a los tres métodos analizados lo constituye la creación de trochas de acceso al bosque, a lo que la creación de viveros corresponde al método de regeneración natural con enriquecimiento y al método de tala rasa con reforestación.

De la referencia (7), por la infraestructura, se ha eva -

luado un costo de :

0.35 - 0.4 USS/ton

En resumen, el costo por tonelada de combustible - leña cuya explotación del bosque energético manejado mediante plan de regeneración natural, será :

Tala y Extracción	2.18	USS/ton
Transporte	3.0	"
Almacenamiento	1.09	"
Infraestructura	0.4	"
TOTAL	6.67	USS/ton

Si se considera un costo por imprevistos equivalente al - 5 % del costo total ,entonces el costo por tonelada de leña se estima en 7.0 USS/ton.

Se debe considerar también que, con una apropiada - empresa de explotación del bosque los costos arriba evaluados pueden bajar significativamente en por lo menos un 30 %.

8.1.5 Incidencia de la Reforestación en el Costo de la Leña

Los planes de manejo forestal con método de regeneración natural con enriquecimiento o con tala rasa y reforestación requieren de actividades adicionales dentro la reforestación, los cuales incrementan el costo de obtención del combustible leña .

Las actividades de reforestación que se requieren. (excepuando la preparación del terreno o desbrose de monte que

ya está incluido en la etapa de tala y extracción),son - las siguientes :

- Preparación de viveros
- Control de insectos : hormigas,etc
- Plantación :siembra de las especies seleccionadas
- Mantenimiento y reposición de plantas : deshierbe y resiembra

Los costos de cada una de estas actividades para el proceso de regeneración natural con enriquecimiento son :

- Preparación de viveros

Para que los viveros tengan una capacidad de abastecimiento medio de 1,200 plantas por hectárea se requiere de dos obreros que realicen la preparación de estos durante medio año trabajando a 25 días por mes.

Si el jornal diario de cada obrero es de 2.5 US\$ entonces el costo por preparación del vivero será estimado en :

$$(2h \times 150 \text{ día/a} \times 2.5 \text{ US\$/h-día}) / (75\text{Ha/a}) = 10 \text{ US\$/Ha}$$

- Control de Insectos

Para su estimación se considera que :

- .El control de plagas se realizará de 1 a 2 veces al año durante 3 años
- .Dependiendo del tipo de insecticida que se utilice se determina la cantidad y el precio de este. Para insecticidas como la mezcla de Bromuro de Methyl y de Cloropicrina se requiere de 40 Kg/Ha cuyo precio promedio es de 0.3 US\$/Kg.
- .Se requiere de 3 obreros para que realicen la opera -

ción diaria por cada hectárea.

Por tanto el costo por control de insectos se estima en :

$$3 \times (40 \text{ Kg/Ha} \times 0.3 \text{ US\$/Kg} + 3 \text{ h-día/Ha} \times 2.5 \text{ US\$/h-día}) = 58.5 \text{ US\$/Ha}$$

- Plantaciones

Constituye la siembra de las especies de enriquecimiento. Consiste en la excavación de zanjas (huecos) de $0.3 \times 0.3 \times 0.3$ m, donde se colocarán las plantas seleccionadas provenientes del vivero. Dependiendo de la especie seleccionada el espaciamiento entre planta y planta puede ser de 1 a 3 m; esto equivale a un promedio de 1,200 plantas por hectárea.

Para estas condiciones, si se requiere de 6 obreros para tal actividad con un jornal diario de 2.5 US\$/h, entonces el costo por plantación se estima en :

$$6 \text{ h-día /Ha} \times 2.5 \text{ US\$/h-día} = 15 \text{ US\$/Ha}$$

- Deshierbe y Resiembra

Constituye la limpieza manual, la eliminación de otras especies herbáceas que impidan el crecimiento normal de las especies forestales seleccionadas, y la reposición de plantas forestales faltantes en ciertos espacios libres. Para el caso de la regeneración natural con enriquecimiento, esta actividad se puede realizar de 1 a 2 veces durante 3 años y se requiere de 3 obreros que realicen la operación diaria por hectárea. De esta forma el costo para esta actividad se estima en :

$$6x (3 \text{ h-día/Ha} \times 2.5 \text{ US\$/h-día}) = 45 \text{ US\$/Ha}$$

Así se tiene entonces que, el costo total por actividades de reforestación por hectárea utilizando el método de regeneración natural con enriquecimiento, será de aproximadamente 128.5 US\$/Ha.

Como la cantidad sacable de leña del bosque manejado con este método es de $70 \text{ m}^3/\text{Ha}$ ó 42 ton/Ha ; entonces el costo total de reforestación por tonelada se estima en :

$$(128.5 \text{ US\$/Ha}) / (42 \text{ ton/Ha}) = 3 \text{ US\$/ton}$$

Si se tiene en consideración el costo de herramientas y material adicional, cuyo valor represente el 10 % del anterior, entonces el costo referencial por reforestación será de aproximadamente 3.3 US\$/ton.

Finalmente, el costo por tonelada de combustible leña adquirida del bosque energético manejado por método de regeneración natural con enriquecimiento, será de 10.3 US\$/ton.

8.1.6 Costos de Combustibles Biomásicos adicionales

El costo de estos combustibles provenientes de las cosechas del arroz (paja de arroz), los molinos de arroz (cascarilla de arroz) y de los aserraderos; corresponden solamente a los gastos de recolección, transporte y manejo en el patio de almacenaje en la planta.

- En el caso de la paja de arroz, su recolección y transporte primario requiere de unas 16 horas por tonelada. Si el costo de mano de obra se considera 0.25 US\$/hora, el costo de transporte hacia la planta 0.2 US\$/Km-ton

cuya distancia media sea de 4 Km ;el costo estimado -
de la paja de arroz puesto en planta será :

$$16\text{hr./ton} \times 0.25 \text{ US\$/hr} + 4\text{Km} \times 0.2\text{US\$/Km-ton} = 4.8\text{US\$/ton}$$

- En el caso de la cascarilla de arroz y los desechos -
de los aserraderos, para la carga y descarga requieren
de 2.5 y 3 horas por tonelada respectivamente, con cos
tos norarios de mano de obra de 0.25 US\$.

Sí se tiene en cuenta que estas industrias están nor-
malmente cercanas al área urbana al igual que la plan-
ta de generación de electricidad ;pues el costo por -
transporte se reducirá significativamente .

Para efectos de cálculo, si se asume una distancia de
de 2 Km para el transporte por tierra , entonces los -
costos de estos combustibles puestos en planta serán:
Cascarilla de arroz :

$$2.5 \text{ hr/ton} \times 0.25 \text{ US\$/hr} + 2 \text{ Km} \times 0.3 \text{ US\$/Km-ton} = \\ 1.2 \text{ US\$/ton}$$

Desechos de aserraderos :

$$3 \text{ hr/ton} \times 0.25 \text{ US\$/hr} + 2 \text{ Km} \times 0.3 \text{ US\$/Km-ton} = \\ 1.3 \text{ US\$/ton}$$

8.2 Metodología para evaluar Costos Comparativos de Generación Eléctrica

La justificación económica de la planta dendrotérmica en estudio se realiza mediante la comparación de los costos de producción de energía eléctrica frente a un grupo electrógeno diesel de la misma potencia instalada.

Dentro de este análisis, se ha optado por la comparación exclusivamente de costos ya que los beneficios o ingresos son idénticos para ambas alternativas. En este sentido, la alternativa más conveniente económicamente será la que tenga el menor costo de la energía a generar.

Puesto que el flujo de costos es propio para cada alternativa, para realizar la comparación entre ambas, sus costos deben ser trasladados a valores equivalentes a un determinado punto del tiempo. Entre los métodos de comparación se tienen :

Valor anual equivalente

Valor actual o valor presente

Tiempo de recuperación de capital

Dada la prioridad de uso de estos métodos dentro las actividades económicas, es que en el presente estudio se hace la evaluación con cada uno de estos.

8.2.1 Método del Valor Anual Equivalente

Consiste en que, el costo de cada alternativa se transforma en una serie uniforme equivalente anual. A su vez el costo anual equivalente puede ser evaluado según las características económicas de las alternativas.

Una forma más simple y que proporciona una aproximación - bastante rápida se evalúa cuando se considera que la depreciación es proporcional o en línea recta y el interés anual de la inversión como valor medio. Entonces la expresión aproximada del valor anual equivalente es :

$$CE = \frac{I - R}{n} + i \left(\frac{(I-R)(n+1)}{2n} + R \right) + G$$

donde :

I : inversión total

R : valor de rescate (valor residual o de reventa)

i : tasa de inversión

n : vida útil del proyecto

G : gastos medios anuales (operación, mantenimiento, combustible, lubricantes, etc)

La expresión anterior también puede ser ordenada de la forma siguiente :

$$CE = (I-R) \left(\frac{1}{n} + \frac{i(1+n)}{2n} \right) + R i + G$$

El valor aproximado del costo equivalente del KWh generado, también denominado valor económico del KWh, se determina mediante la relación entre el costo anual equivalente y la energía anualizada a generar (E_a) ; esto es :

$$CE-KWh = \left[\frac{I-R}{n} + i \left(\frac{(I-R)(n+1)}{2n} + R \right) + G \right] / E_a$$

8.2.2 Método del Valor Actual

Con este método, cada alternativa se transforma en una cantidad simple equivalente situada en el inicio de la vida del proyecto (inicio del año base). Cuando se analizan solamente costos comparativos en donde cada alternativa posee gastos anuales iguales durante la vida del proyecto, la expresión que evalúa el costo actual es la siguiente :

$$CA = I + G (P/a)_n^i - R (P/f)_n^i$$

donde :

I : inversión total

R : valor de rescate o reventa

$(P/a)_n^i$: factor de valor actual de serie uniforme de pagos y está dado por :

$$(P/a)_n^i = \frac{(1+i)^n - 1}{i (1+i)^n}$$

$(P/f)_n^i$: factor simple de actualización; está dado por:

$$(P/f)_n^i = \frac{1}{(1+i)^n}$$

El valor actualizado del KWh generado se determina mediante la relación entre el costo total actualizado de la planta y la energía a generar actualizada ;esto es :

$$CA-KWh = \left[I + G (P/a)_n^i - R (P/f)_n^i \right] / Ea (P/a)_n^i$$

Como :

$$(P/f)_n^i + i (P/a)_n^i = 1$$

queda :

$$CA-KWh = \left[(I-R) \left(\frac{a}{p}\right)_n^i + i.R + G \right] / Ea$$

$\left(\frac{a}{p}\right)_n^i$: factor de recuperación de capital

8.2.3 Tiempo de Recuperación de Capital Invertido

Es comunmente aplicado en ciertos paises de Europa y se basa en buscar el número de años necesario para recuperar la diferencia de inversión entre una y otra alternativa ,con el beneficio de las operaciones de ambas alternativas .

8.3 Identificación de costos de Inversión

8.3.1 Inversión Fija

Está conformada por los siguientes costos:

- Maquinaria y servicios
- Obra civil
- Flete y seguros
- Montaje y ensayos
- Proyecto y supervisión
- Gastos adicionales

8.3.1.1 Maquinaria y Servicios

Al igual que en los aspectos técnicos ,según las proformas de venta del equipo completo, la oferta de la firma Mernak es inicialmente la más conveniente (ver Anexo 1). La oferta se compone de :

- Equipamiento completo :es decir está conformado por
 - .una caldera de leña
 - .una máquina de vapor
 - .Un generadór eléctrico síncrono
 - .un tablero de control
 - .equipamiento auxiliar
 - .accesorios y herramientas en general
- Servicio de montaje y ensayos : la firma Mernak se encarga de la dirección de los trabajos de instalación y ensayos así como también de asistencia técnica dentro del periodo de garantía ofrecido (1 año) y el adiestramiento de un técnico para la operación y mantenimiento .
- Durante el tiempo de fabricación del equipamiento, la firma facilita el acceso libre a sus instalaciones de dos inspectores e ingenieros, o también personal especializado de otras organizaciones, designadas por el comprador

El monto total de esta oferta que incluye; precio franco-a bordo -FOB-, servicios de montaje y ensayos, supervisión, asistencia técnica , asciende a 210,000 US\$.

Respecto a los grupos electrógenos, actualmente en el Perú existen diversos representantes de ventas de diferentes firmas fabricantes extranjeras ; así también existen ensambladoras locales pero en un número bastante reducido. El precio FOB de un grupo electrógeno diesel para la capacidad del proyecto, se encuentra en promedio entre 38,000 US\$ a 45,000 US\$.

8.3.1.2 Obra Civil

Estos costos son referidos a la infraestructura de la planta (construcción de la casa de máquinas y el patio de almacenaje del combustible)

Dada las características de la planta ,la ubicación y referencias existentes, estos costos se estiman entre el 15 a 17 % del precio FOB

Para el caso de de un grupo electrógeno diesel de la capacidad requerida, comparativamente de menor precio FOB, los costos por obra civil se estiman entre 18 a 25 % de su precio FOB.

8.3.1.3 Flete y Seguros

Son los costos por la posición del equipo en puerto peruano y la posición puesto en obra.

El primero depende del país de embarque, de la distancia - al Perú, nacionalidad del barco y del tiempo que dure el viaje; este costo sumado al precio FOB dá el precio CIF del equipo.

El segundo depende del puerto de desembarque en el Perú, - de su distancia y dificultad para llegar a la obra .

Estos costos generalmente varían entre el 7 a 10 % del - precio FOB, para ambos casos. Para la planta dendrotérmica debe tenerse en cuenta que estos costos pueden ser más reducidos , dado que la distancia fabricante-lugar de la obra es comparativamente menor, y además existe facilidad - de transporte fluvial directo.

8.3.1.4 Montaje y Ensayos

Dependen de la cantidad de personal, equipo, mate-

riales y energía a utilizar .

Estos costos varían entre el 12 y 18 % del precio FOB.

Para el caso del equipo dendrotérmico ,como la oferta de Mernak incluye parte de estos costos dentro el costo total del equipo ;entonces para efectos de evaluación se consideran como el 8 % de su precio FOB.

8.3.1.5 Proyecto y Supervisión

Para la planta dendrotérmica se considera el 4 % de su precio FOB y para el grupo electrógeno diesel el 8% de su precio FOB.

8.3.1.6 Gastos otros

Acá se consideran los costos por impuestos o derechos . Al ser el equipo un bien que persigue beneficios sociales, económicos, culturales de un pueblo los cuales forman parte del desarrollo integral de la nación ;estos costos pueden ser liberados . Para efectos de evaluación se consideran el 10 a 12 % del precio FOB para los dos casos, planta dendrotérmica o grupo electrógeno diesel.

8.3.2 Costos de Operación de la Planta

Lo conforman los costos por:

- Combustibles
- Lubricantes
- Mantenimiento y repuestos
- Sueldos y Jornales

8.3.2.1 Combustibles

- Planta Dendrotérmica

El costo del combustible biomásico por unidad de energía eléctrica generada se obtiene del producto entre el consumo específico de combustible requerido por la planta "Ce" en ton/KWh ,y su costo por unidad de masa "b" en US\$/ton.

El costo anual de combustible "CAC" se obtiene del producto entre la demanda anual de combustible "DAL" y su costo por unidad de masa "b".

Dentro la evaluación se considera el costo "b" del combustible leña con y sin reforestación enriquecida, y de los combustibles biomásicos adicionales.

- Grupo Electrógeno Diesel

El costo del combustible petróleo diesel #2 por unidad de energía eléctrica generada se obtiene del producto entre el consumo específico del combustible requerido por el grupo "Ce" en gal/KWh y su costo por unidad de volumen "b" en US\$/gal.

El costo anual del combustible diesel "CAC" se obtiene multiplicando su costo por unidad de energía eléctrica generada por la energía anual a generar.

De datos reales tomados en grupos electrógenos instalados en nuestro país-Ref (35) ;para potencias menores de 200 KW ,el consumo específico --real de combustible es en promedio de aproximadamente 0.1 gal/KWh .

8.3.2.2 Lubricantes

dad tecnológica ,su vida útil se propone en 20-años;pues muchas experiencias indican que la vida útil de estas calderas y máquinas de vapor superan holgadamente los 25 a 30 años de funcionamiento continuo . En este sentido el valor de reventa a 20 años de servicio de la planta se toma como el 15 % de la inversión total inicial.

- En los grupos electrógenos, para la capacidad y condiciones de requerimiento, la vida útil se considera de 10 años y un valor de reventa del 10 % de su inversión total inicial.
- La tasa de interés anual , para una inversión de este tipo , se toma como valor de referencia (Electroperú) de 13 %.

8.4 1 Cálculo del Valor Económico y Valor Actual del KWh

.Planta Dendrotérmica

Se tienen los datos siguientes :

- Inversión Total: I. Es la suma de los costos que conforman la inversión fija. Tomando los porcentajes acordados para el caso de la planta dendrotérmica, se calcula que la inversión total es de aproximadamente: $I = 300,000 \text{ US\$}$
- Costos de Operación: G. Es la suma de los costos de combustibles, lubricantes, mantenimiento y repuestos y, sueldos-jornales. De los valores estimados se obtiene la siguiente relación :

$$G = 1.1 \text{ CAC} + 8,500 \quad \text{US\$/a}$$

En el cuadro (8-1) se dan los valores de CAC y G para los casos en que se utilice; solamente leña ,combinación de leña con combustibles biomásicos adicionales (desechos o residuos) en porcentajes complementarios de la energía del combustible requerida ECR ,y cuando se utiliza solamente combustibles biomásicos adicionales. Esta evaluación se realiza para los costos de la leña proveniente de bosque manejado con regeneración natural y regeneración natural enriquecida.

CUADRO (8-1)

Valores de CAC y G para Planta Dendrotérmica

Combustible Biomásico	CAC (US\$/a)	G (US\$/a)
LEÑA (Regeneración Natural)	22,120	32,832
LEÑA (Reg. Nat. Enriquecida)	32,548	44,302
LEÑA(75%)+DESECHOS(25%) (Regeneración Natural)	17,447	27,692
LEÑA(75%)+DESECHOS(25%) (Reg. Nat. Enriquecida)	25,268	36,294
LEÑA(50%)+DESECHOS(50%) (Regeneración Natural)	12,774	22,551
LEÑA(50%)+DESECHOS(50%) (Reg.Nat. Enriquecida)	17,988	28,287
DESECHOS	3,428	12,271

- Valor de reventa : $R = 45,000 \text{ US\$}$
- Vida útil : $n = 20 \text{ años}$
- Tasa de interés : $i = 13 \%$

-.Grupo Electrónico Diesel

Datos :

- Inversión Total I. De los porcentajes acordados al caso de un grupo electrónico se tiene que la inversión total es de aproximadamente :

$$I = 75,000 \text{ US\$}$$

- Costos de Operación G . Se obtiene de la relación :

$$G = 1.1 \text{ CAC} + 8,500 \quad \text{US\$/a}$$

donde :

$$\text{CAC} = b \cdot \text{Ce} \cdot \text{Ea} \quad \text{US\$/a}$$

$$\text{Ea} = 815,680 \text{ KWh/a}$$

$$\text{Ce} = 0.1 \text{ gal/KWh}$$

En el cuadro (8-2) se dan los valores de CAC y G para distintos valores de "b" US\$/gal teniendo en cuenta que, dada las condiciones de distribución del combustible petróleo en los pueblos de la Selva Baja (ver 3.2.1), sus precios reales superan generalmente el 200 % de los autorizados. Además se tiene en cuenta que los precios internacionales del combustible petróleo superan generalmente el dolar por galon americanos.

- Valor de reventa : $R = 7,500 \text{ US\$}$
- Vida útil : $n = 10 \text{ años}$
- Tasa de interés : $i = 13 \%$

CUADRO (8-2)

Valores de CAC y G para Grupo Electrónico

Costo b US\$/gal	CAC (US\$/a)	G (US\$/a)
1.0	81,568	98,225
1.2	97,882	116,170
1.3	106,038	125,142
1.4	114,195	134,115
1.5	122,352	143,087
2.0	163,136	187,950

Reemplazando los datos correspondientes en las expresiones de valor económico y de valor actualizado - del KWh generado, se obtienen los costos comparativos de - generación eléctrica entre la Planta Dendrotérmica de - combustion directa proyectada y el Grupo Electrónico Diesel ; los cuales se muestran en los cuadros (8-3) y (8-4).

CUADRO (8-3)

Costo KWh Planta Dendrotérmica

Combustible Biomásico	CE-KWh (US\$/KWh)	CA-KWh (US\$/KWh)
LEÑA (Regeneración Natural)	0.084	0.091
LEÑA (Reg. Nat. Enriquecida)	0.098	0.105
LEÑA(75%)+DESECHOS(25%) (Regeneración Natural)	0.078	0.085
LEÑA(75%)+DESECHOS(25%) (Reg. Nat. Enriquecida)	0.088	0.096
LEÑA(50%)+DESECHOS(50%) (Regeneración Natural)	0.071	0.079
LEÑA(50%)+DESECHOS(50%) (Reg.Nat. Enriquecida)	0.078	0.086
DESECHOS	0.059	0.066

CUADRO (8-4)

Costo KWh Grupo Electrógono

Combustible Diesel Costo (US\$/gal)	CE-KWh (US\$/KWh)	CA-KWh (US\$/KWh)
1.0	0.135	0.136
1.2	0.158	0.159
1.3	0.169	0.170
1.4	0.180	0.181
1.5	0.190	0.192
2.0	0.246	0.247

8.4.2 Tiempo de Recuperación de Capital

Se estima en forma aproximada por el cociente entre ;la diferencia de inversiones de la Planta Dendrotérmica y el Grupo Electrógeno, y la diferencia de costos anuales equivalentes respectivos.

El cuadro (8-5) muestra los valores en función de los costos del combustible propios de cada alternativa.

CUADRO (8-5)

Valores de Tiempo de Recuperación de Capital

Comb. Biomásico	Comb. Diesel b: (US\$/gal)	T.R.C. (años)
	1.0	4.6
LEÑA	1.2	3.2
(Reg. Nat.)	1.3	2.8
	1.5	2.2
	1.0	6.4
LEÑA	1.2	4.0
(Reg. Nat. Enr.)	1.3	3.4
	1.5	2.5
	1.0	4.1
LEÑA(75%)+DES.(25%)	1.2	3.0
(Reg. Nat.)	1.3	2.6
	1.5	2.1

8.4.3 Cuadro Comparativo y Diagrama de Costos

El cuadro (8-6) muestra en resumen la evaluación - de costos comparativos ;en donde se determina el costo del KWh generado específicamente para cuando la Planta Dendro térmica utiliza leña que proviene del bosque energético - manejado con método de regeneración natural y el Grupo E- lectrógeno utiliza petróleo Diesel #2 con mínimo costo puesto en la localidad en estudio.

La variación gráfica de los costos comparativos de generación eléctrica con respecto a las horas anuales de utilización se determina a partir de la expresión del va- lor actual del KWh generado ,el cual al ser reordenado lue- go de reemplazar "G" como:

$$G = 1.1 b C_e E_a + 8,500 \quad \text{US\$/a}$$

queda :

$$C = \frac{I/P_g \left[(1-R/I) \left(\frac{a}{p} \right)^{\frac{1}{n}} + R/I \cdot i \right] + 53}{Z} + 1.1 b C_e$$

Reemplazando datos para ambos casos se obtiene :

- Planta Dendrotérmica :

$$C = \frac{316}{Z} + 4.26 \times 10^{-3} b \quad \text{US\$/KWh}$$

ó

$$C Z = 316 + 0.00426 b Z \quad \text{US\$/KW a}$$

donde:

b : costo del combustible biomásico US\$/ton.

Z : horas de utilización anuales

- Grupo Electr6geno

$$C = \frac{137}{Z} + 0.11 b \quad \text{US\$/Kwh.}$$

6

$$C Z = 137 + 0.11 b Z \quad \text{US\$/KW a}$$

donde :

b : costo del combustible diesel US\$/gal.

Z : horas de utilizaci6n anuales

En las figuras (8-1) y (8-2) se muestran las variaciones del costo KW generado con respecto a las horas de operaci6n por a1o para las dos alternativas comparadas.

CUADRO (8-6)

Evaluación de Costos Comparativos

Tipo de Planta Generadora			Planta Dendrot.	Grupo E. Diesel
PARAMETROS BASICOS				
	Simbolo	Unidad		
Potencia de Generación	Pg		160	160
Factor de Carga Promedio	f.c	-	0.58	0.58
Tiempo Anual de Operación	-	hora/a	5100	5100
Precio Combustible Leña RN	b	US\$/ton	7.0	-
Precio Combustible Diesel	b	US\$/gal	-	1.0
Consumo Específico Leña	Ce	Kg/KWh	3.87	-
Consumo Específico Diesel	Ce	gal/KWh	-	0.1
Consumo de Lubricantes	-	l/hora	0.4	0.6
Vida Util	n	años	20	10
Tasa de Interés Anual	i	%	13	13
Factor de Anualidad	-	-	0.1423	0.1842
INVERSIONES				
Total Equipos		US\$	210000	43000
Obra Civil		US\$	30000	11360
Flete y Seguros		US\$	14700	4300
Montaje y Ensayos		US\$	16800	7740
Proyecto y Supervisión		US\$	8400	3440
Adicionales		US\$	21000	5160
TOTAL INVERSION		US\$	300000	75000
COSTOS DE OPERACION				
Combustible	CAC	US\$/a	22120	81568
Lubricantes		US\$/a	1106	4078
Mantenimiento y Repuestos		US\$/a	1106	4078
Sueldos y Jornales		US\$/a	8500	8500
Costos de Capital		US\$/a	42150	13414
COSTO ANUAL TOTAL		US\$/a	74982	111639
Costo Unitario	C	US\$/KWh	0.091	0.136
Tiempo Recup. Capital		a	4.6	

CONCLUSIONES

1. En la actualidad, la mayoría de los pueblos de la Selva Baja peruana se encuentran con déficit energético, especialmente en energía eléctrica. Como consecuencia, la Selva Baja posee los más bajos índices de consumo energético; el consumo eléctrico per cápita es de 175 KWh/a y específicamente de Pto Inca es de 100 KWh/a, ambos son inferiores a la media nacional que es de 240 KWh/a.
2. La oferta existente de energía eléctrica en la mayoría de pueblos de la Selva Baja es mínima o nula; algunos que disponen son generados con grupos electrógenos diésel los cuales cubren en mínimo la demanda eléctrica, debido a notadas subdimensiones y/o funcionamiento irregular ocasionado por el limitado trato técnico. La mayoría de estos grupos diésel tienen déficit de rentabilidad por la escasez y el alto costo del combustible puesto en sitio.
3. Se ha elegido a Puerto Inca como la localidad a electrificar mediante la tecnología dendrotérmica, principal -

mente porque es un lugar típico representativo de la -
dinámica energético-económica de la Selva Baja; es de-
cir, dispone de gran cantidad y variedad de especies fo-
restales energéticas, presenta una fisonomía socio-eco-
nómica estable que se basa en la agricultura y agroin-
dustria forestal. Asimismo la oferta eléctrica existen-
te no es eficaz y a la vez costosa, cuya demanda no está
plenamente satisfecha.

4. La estimación de la demanda eléctrica de Puerto Inca ,
mediante la convergencia de dos métodos, garantiza ma-
yor aproximación al comportamiento real y su proyección
respectiva .
5. Las fuentes energéticas convencionales petróleo y gas
natural no ofrecen posibilidades de aprovechamiento en
la generación eléctrica a la escala requerida por la -
mayoría de pueblos dispersos y aislados de la Selva Ba-
ja .En el caso del petróleo se debe a su ubicación na-
tural, su explotación y su forma de comercialización ;
mientras que en el caso del gas natural se orienta ha-
cia la generación en gran escala, en donde se requiere
grandes inversiones y periodos largos de implementación.
6. De las fuentes energéticas no convencionales existen -
tes en la Selva Baja, la Biomasa Forestal es la fuente
con mayores ventajas técnico-económicas en su explota-
ción para la generación eléctrica en muchos pueblos a
lejados y estratégicos de esta región y en especial de
Puerto Inca .

7. Si bien las otras fuentes no convencionales de energía que se encuentran en la Selva Baja (~~eólica, solar, hidráulica, geotérmica~~ ; que a diferencia de la biomasa forestal no están distribuidas homogéneamente a lo largo de esta región), no son muy atractivas económicamente para su aprovechamiento en la generación eléctrica a los niveles requeridos de capacidad (más de 50 KW); estas ofrecen muchas ventajas cuando se utilizan para fines energéticos puntuales de pequeña escala.
8. Como potencial energético forestal, la Selva Baja dispone de especies leñosas más que suficientes para satisfacer cualquier demanda de energía, mucho más a los niveles y condiciones requeridas por los pueblos que lo conforman. La Selva Baja se caracteriza por su homogeneidad forestal como potencial y por su heterogeneidad florística (más de 2,800 especies hasta ahora conocidas), y posee en mayor porcentaje especies madereras duras (142 a 212 m³/Ha de biomasa sacable), las cuales se distinguen por su alto contenido energético.
9. Aparte de todas las ventajas que ofrece la Dendroenergía, disertadas en el desarrollo del presente estudio, - un programa dendrotérmico para generación de potencia que marcha paralelo a la explotación planificada del bosque, crea la recuperación de áreas anteriormente deforestadas y la sustitución de áreas cultivadas de plantas hoy en día utilizadas para procesamientos indebidos .

10. Del análisis de los procesos termoquímicos de conversión de la biomasa forestal en combustible energético ,los procesos que mejor se pueden utilizar para la generación de energía mecánica y eléctrica son ,la combustión directa y la gasificación. Pues sus tecnologías ya conocidas crean mayores expectativas.
11. Los procesos bioquímicos analizados,de acuerdo a su desarrollo actual,comparativamente son menos atractivos para la generación de potencia a la escala tal como de la localidad específica en estudio. Referente a la fermentación metanogénica,se requiere de grandes cantidades de biogas que se traduce en un mayor número de Biodigestores,con lo que los costos serán elevados ;mientras que en la fermentación alcohólica,al alto costo de obtención de alcohol a partir de la biomasa forestal se suma la complicación para la alimentación al motor de combustión interna.
12. En forma general,todos los procesos de conversión técnica de la biomasa forestal analizados pueden ser utilizados para su transformación en combustibles y posterior uso en la generación de potencia,la diferencia entre ellos radica fundamentalmente en la eficiencia de transformación ,la tecnología existente al alcance y la economía de funcionamiento.
13. La opción por la utilización de la leña (secada y fraccionada) como combustible de alimentación a una planta dendrotérmica de combustión directa,frente a -

La utilización del carbón vegetal se basa principalmente a los costos adicionales por infraestructura y procesamiento que demanda este último, lo cual incrementa el costo total de la planta.

14. Los planes de manejo forestal mediante los métodos analizados no solamente garantiza el carácter renovable de la fuente energética y el abastecimiento pleno a la planta sino que también garantiza la conservación del equilibrio del ecosistema o del medio ambiente.
15. De acuerdo al orden técnico y fundamentalmente económico, el método de manejo del bosque energético inicialmente a adoptar para el suministro de combustible biomásico a la planta dendrotérmica de Puerto Inca, se prioriza en el siguiente orden:
 - Regeneración Natural
 - Regeneración Natural con Enriquecimiento
 - Tala Rasa y Reforestación
16. Los combustibles biomásicos adicionales con mayores posibilidades de explotación energética en la Selva Baja son los residuos o desechos de la industria de la madera, la paja de arroz y la cascarilla de arroz. Su contenido energético asciende a un equivalente anual de 311,000 barriles de combustible petróleo. En la localidad de Puerto Inca estos representan (en 1985) el 25 % de la energía requerida por la planta proyectada.
17. Del análisis comparativo entre las plantas Dendrotér-

micas y grupos electrógenos Diesel se muestra que; la operatividad, simplicidad, vida útil prolongada de las primeras que sumado al bajo costo del combustible biomásico, lo hacen más factible su aplicación para la generación de electricidad en lugares de la Selva Baja.

18. Uno de los factores que relegan económicamente a los grupos electrógenos como sistemas de generación eléctrica en lugares alejados y dispersos de la Selva Baja, es el costo del combustible diesel. Para la capacidad proyectada de la localidad de Puerto Inca, el gasto de combustible para un solo año de operación del grupo electrógeno supera el costo de su inversión total.
19. Del análisis comparativo entre una planta Dendrotérmica de combustión directa con sistema caldera de leña - máquina de vapor y una planta Dendrotérmica de gasificación, para la capacidad de 100 - 200 KW de generación eléctrica, se demuestra que la primera es más conveniente del punto de vista de operación-mantenimiento, durabilidad, rendimiento y versatilidad energética, salud y medio ambiente, y de la aceptación social. A la vez se sugiere que los electrogasógenos también pueden aplicarse pero para cubrir demandas menores de 100 KW.
20. Para la capacidad de la planta proyectada, la conveniencia de la máquina de vapor como elemento motriz se refleja principalmente por su alta eficiencia en un amplio rango de cargas, simplicidad, menos consumo de vapor

por potencia efectiva ,menos sensible a la calidad de vapor,larga vida útil,mayor asimilación a las sobrecargas,fácil mantenimiento;esto es,comparada frente a una turbina de vapor.

21. Para la implementación de la planta Dendrotérmica, se ha optado por la firma Mernak ,por las ventajas de orden técnico (simplicidad de diseño y operación,eficiencia,stock de repuestos,estandarización de equipos,experiencia de fabricación,etc) y de orden económico (costo de equipos comparativamente convenientes,cercanía para el transporte,prestación de servicios).
22. El costo de los combustibles biomásicos adicionales existentes en Puerto Inca se estima en 1.2 -1.3 US\$/ton, estos al ser utilizados como complemento o como sustituto temporal al combustible leña para la alimentación de la planta,disminuye más aún el costo KWh generado.

BIBLIOGRAFIA

1. BÄHR, HUGO - "Calderas y Máquinas de Vapor"-Editorial Labor S.A. - Barcelona 1975
2. BEAUMONT ROVEDA, E - "Electricity from Wood Steam Engines" - FAO , Rome 1986
3. BERNAS, MARTIN - "Introduction to The Reciprocating - Steam Engine Technique - Publication , 1986
4. BJÖRN, KJELLSTRÖM - "Producer Gas as Fuel for Internal Combustion Engines" - The International Institute for Energy and Human Ecology - The Royal Swedish Academy of Sciences - 1985
5. BALFOUR BEATTY ENGINEERING - "Woodburning Power Stations" - Technical Information - U.K , 1988
6. CASTELFRANCHI, G - "Centrales Eléctricas" - Lima, 1980
7. CESEN-CONERG "Evaluación de Alternativas Energéticas en la Selva Baja Peruana" - Informe final del convenio italo-peruano - 1987
8. COMISION NACIONAL DE ENERGIA-CONADE - "La Gasificación como fuente de Energía en Areas Rurales" - Boletín Informativo - Panamá, 1986
9. CONCEJO NACIONAL DE ENERGIA-CONERG - "Balance Nacional de Energía 1970-1989" - Ministerio de Energía y Minas - Lima
10. COSS, RAUL - "Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión " - Editorial Limusa - Mexico, 1982
11. DANCE CABALLERO, JOSE - "Tendencias a la Deforestación con fines agropecuarios en la amazonía peruana" - Revista Forestal del Perú, Volumen 10, 1980-1981
12. DANIEL, P-HELMS, U- BAKER, F - "Principios de Silvicultura " - Editorial Mc Graw Hill - México, 1982
13. DENTON, F - "Wood for Energy and Rural Development" - The Philippine Experience - Manila, 1983
14. DUMON, ROGER - "Energía Solar y Almacenamiento de Energía" - Editorial Toray/Masson - Barcelona, 1981
15. ELECTROPERU - "Plan Maestro de Electricidad" 1985 a 1989 - Publicación Técnica de Electroperú

16. FAO FORESTRY PAPER - "Fuelwood Supplies in the developing countries" 42-FAO ,Rome , 1983
17. FAO FORESTRY PAPER - "Wood Gas as Engine Fuel" N° 72 - FAO ,Rome, 1986
18. GAFFERT,G.A - "Centrales de Vapor" - Editorial Reverte - Barcelona, 1981
19. HUNT,DANIEL - "Enciclopedia de Energía,Tecnología" - Publicaciones Marcombo S.A. - México, 1984
20. INSTITUTO DE ECONOMIA ENERGETICA SAN CARLOS DE BARILOCHE - "Economía de la Energía" - Publicación Técnica Argentina, 1987
21. INSTITUTO DE ECONOMIA ENERGETICA SAN CARLOS DE BARILOCHE - "Estudio sobre Requerimientos Futuros de Fuentes No Convencionales de Energía en América Latina" -Proyecto RLA /74/030- PNUD , 1979
22. INSTITUTO DE ECONOMIA ENERGETICA SAN CARLOS DE BARILOCHE - "La Biomasa como Recurso Energético" - Publicación ,Argentina, 1985
23. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL -INTI- "Dendroenergía"- Año 2,N° 4,5 - Buenos Aires ,1987
24. I.T.D.G. PROJECT BULLETIN - "Water Curret Turbine" U.K - Setember 1980
25. KRENS,JERROLD - "Uso Racional de la Energía"- Ediciones Aragón - Buenos Aires ,1985
26. LIU ,PEDRO - "Situación actual y perspectivas de utilización de la biomasa como fuente energética en el Perú - ITINTEC ,1979
27. MALLEOUX ,JORGE - "Mapa Forestal del Perú" -Universidad Nacional Agraria La Molina UNA -Lima ,1976
28. MERNAK S.A. - "Centrais Térmicas Mernak "- Catálogo - Brasil ,1990
29. MINISTERIO DE AGRICULTURA - "Potencial del Recurso Forestal Maderable "-Publicación -Lima ,1982
30. MORO,RAMIRO - "Pequeños Sistemas Geotermales,una opción para el desarrollo rural" - Documento Técnico - Electroperú ,1987
31. MORSE,FREDERICK -"Centrales Eléctricas" - C.E.C.S.A - México, 1984
32. OGARA,MARIO - "Monitoreo y Evaluación Técnico-Econó -

- mico de las unidades de generación de energía instalados en Siguatepeque y Chagüite Grande" - Estudio de Caso- Honduras, 1988
33. RIVA, GIOVANNI - "Transformazione Termochimica dei Combustibili Rinnovabili e Impianti di Combustione dei Residui Ligno-Cellulosici" - Università di Milano, Italia, 1988
 34. SANDBERG, BERTIL - "Rural Development through Gasification" - Paper presented at the Producer Gas Conference - Colombo, Sri Lanka, 1983
 35. SEMINARIO GRUPOS ELECTROGENOS - "Selección, Aplicación y Mantenimiento" - Lima 1985, 1989
 36. SEVERNS, W. H - "Energía mediante Vapor, Aire o Gas" - Editorial Reverte- Barcelona, 1975
 37. SKINNER ENGINE COMPANY - "Biomass Energy Systems- Delta Multicylinder Steam Engines" - Catálogos - Pennsylvania USA, 1990
 38. S.M.C.INC - "Production of Electricity Generation by Wood-Fired Steam Engines for remote communities"-Enfor Project C-178 - Montreal, 1985
 39. SPILLINGWERK - "Spilling Steam Motor Plants"-Catálogo Técnico - Hamburg, Germany, 1990
 40. TAYLOR, GEORGE - "Ingeniería Económica"- Editorial Limusa - México, 1980
 41. TECHNICAL REPORT - "Forest Residues Utilization Study" - Costa Rica, 1989
 42. UCEDA, MANUEL - "Determinación del Poder Calorífico de veinte especies forestales de la amazonía peruana" - Tesis profesional - Universidad Nacional Agraria la Molina UNA - Lima, 1984
 43. UHART, EDMOND - "Posibilidad de utilizar Electrogasógenos en el Perú" - Informe- Lima, 1982
 44. VYNCKE - "Calderas que queman Leña y Desechos"- Catálogo - Bélgica, 1990
 45. YVES DINIS, VICTOR - "Caldeiras a Lenha" - Fundacao Centro Tecnológico de Minas Gerais CETEC - Brasil, 1986
 46. ZAMALLOA, RODOLFO - "Utilización de la Biomasa Forestal como Combustible para la Generación de Electricidad" - Electroperú - 1985

47. ZAMALLOA ,RODOLFO - "Uso de la Máquina de Vapor con - Caldera de Leña para producir Electricidad en lugares de la Amazonía peruana" - Segundo Seminario sobre la Energía Forestal - Suecia 1984
48. ZOPPETTI,G. - "Centrales Hidroeléctricas" - Editorial Gustavo Gili,S.A. - Barcelona ,1981